



Universidad Autónoma del Estado de México

UAEM

021187

ACTA DE EVALUACIÓN DE POSGRADO

ELABORADO EN: Toluca, Estado de México, siendo las 11:00 horas de la mañana del día 31 de Enero de 2010, se reunió en la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Facultad de Geografía



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. LOS SUSCRITOS PROFESORES INTEGRANTES DEL JURADO

- PRESIDENTE: DR. EN C. A. RUIZ JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEBILLO
 - PRIMER VOCAL: DR. EN C. MIGUEL ANGELO VALDEMAS PLATA
 - SEGUNDO VOCAL: DR. EN C. MIGUEL ANGELO VALDEMAS PLATA
 - TERCER VOCAL: DR. EN C. A. RUIZ JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEBILLO
 - SECRETARIO: DR. EN C. F. ALEXIS GARCÍA HERNÁNDEZ
- QUIENES FUERON DESIGNADOS PARA LLEVAR A CABO LA EVALUACIÓN DE MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y DEMOGRAFÍA

DE EL (SA) O: ALEJANDRA ABRIL TORRES CARACHO

QUIEN CUMPLIO CON LOS REQUISITOS REGLAMENTARIOS VIGENTES Y PRESENTO EN SU TÍTULO DE 'POTENCIALIDAD ESPACIAL PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE BIENESTAR CON SIGMA (ZICIMUS COMUNITAS S.) AL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO'

UNA VEZ REALIZADA LA EVALUACIÓN CORRESPONDIENTE, EN TÉRMINOS DE LA LEGISLACIÓN UNIVERSITARIA LOS MIEMBROS DEL JURADO RESOLVIERON APROBARLA CON UNANIMIDAD DE VOTOS.

ACTO CONTINUO, EL PRESIDENTE LE HIZO SABER EL RESULTADO DE SU EVALUACIÓN Y PROCEDIÓ A TOMARLE LA PROTESTA REGLAMENTARIA SE DIÓ POR TERMINADO EL ACTO, SIENDO LAS 12:00 HORAS DEL DÍA DE LA FECHA INDICADA, LEVANTÁNDOSE LA PRESENTE ACTA.

FRMA DEL PRESIDENTE

NÚMERO DE CUENTA

0113332

PRESIDENTE

DR. EN C. A. RUIZ JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEBILLO

PRIMER VOCAL

DR. EN C. MIGUEL ANGELO VALDEMAS PLATA

SEGUNDO VOCAL

DR. EN C. MIGUEL ANGELO VALDEMAS PLATA

TERCER VOCAL

DR. EN C. A. RUIZ JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEBILLO

SECRETARIO

DR. EN C. F. ALEXIS GARCÍA HERNÁNDEZ

LOS SUSCRITOS DIRECTOR Y COORDINADOR DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE GEOGRAFÍA

CERTIFICA

QUE LA FIRMA QUE ANTES CEDEN SON AUTÉNTICAS Y CORRESPONDEN A LOS SEÑORES PROFESORES CUYOS NOMBRES APARECEN EN ESTA ACTA.

DR. F. S. J. FERRERES TRINIDAD

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

EL DIRECTOR

DR. EN C. MIGUEL ANGELO VALDEMAS PLATA

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO FACULTAD DE GEOGRAFÍA

EL COORDINADOR DE POSGRADO



Toluca de Lerdo, Estado de México, martes, 13 de febrero de 2018


A Quien Corresponda:

Por medio de la presente se **HACE CONSTAR** que el **DR. JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEDILLO**, fungió como **TUTOR ACADÉMICO Y SÍNODO** del trabajo terminal de grado modalidad tesis, titulado: **"POTENCIALIDAD ESPACIAL PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE BIOCOMBUSTIBLE CON HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) AL SUROESTE DEL ESTADO DE MEXICO"**, que para optar por el grado de MAESTRA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA, presentó la alumna **C. ALEJANDRA ABRIL TORRES CAMACHO**, el día 31 de enero de 2018.

Se emite la presente para los fines que a la interesada convengan.

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO

"2018, Año del 190 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"


FACULTAD DE GEOGRAFÍA
MAESTRÍA EN
ANÁLISIS ESPACIAL
Y GEOINFORMÁTICA
Dra. Raquel Hinojosa Reyes
Coordinadora de la MAEG





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

***“POTENCIALIDAD ESPACIAL PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE
DE BIOCOMBUSTIBLE CON HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.), AL
SUROESTE DEL ESTADO DE MÉXICO”***

TRABAJO TERMINAL DE GRADO

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAestrÍA EN ANÁLISIS
ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA**

PRESENTA

LIC. ALEJANDRA ABRIL TORRES CAMACHO

TUTOR ACADÉMICO

DR. JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEDILLO

TUTORES ADJUNTOS

DR. NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES

DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS PLATA



TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermano y mi esposo
Han sido, son y serán mi fortaleza e inspiración
Gracias por no dejarme claudicar. Son mi más grande amor <3

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a:

- CONACYT y a la Secretaría de Energía por el financiamiento conjunto para la realización de este trabajo de investigación.
- Dr. Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo, por la asistencia incondicional, la confianza y la orientación.
- Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes, por la enseñanza y la sinceridad.
- Dr. Miguel Ángel Balderas Plata, por sus atinados comentarios y su disposición.
- Mtro. Pedro Saldivar, por las asesorías sobre la higuera, su tiempo y amabilidad.
- Dr. Noé Aguirre, por la comprensión, la guía y revisión.
- Dra. Valentina Lamus (Su familia y amigos) y al ITA Profesional de Guadalajara de Buga, Colombia, así como todas las personas que facilitaron la estancia.
- Coordinación de la MAEG (Dra. Raquel Hinojosa y Verito), por toda la ayuda y atenciones prestadas durante la maestría y la conclusión de este trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS MUNICIPIOS DE SAN SIMÓN DE GUERRERO Y TEMASCALTEPEC	
Ubicación.....	16
Geología.....	18
Relieve.....	20
Clima.....	22
Hidrología.....	24
Edafología.....	26
Vegetación y uso de suelo.....	28
Socioeconómico.....	30
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	
1.1 Geografía Cuantitativa.....	34
1.2 Sustentabilidad.....	35
1.3 Tecnologías de Información Geográfica.....	38
1.4 Análisis Espacial.....	39
1.5 Modelos.....	41
1.5.1 Modelo de Potencial Productivo.....	41
1.5.2 Consideraciones para mapas de potencial productivo.....	42
1.6 Conceptos.....	43
1.6.1 Erosión.....	43
1.6.2 Procesos erosivos.....	43
1.6.3 Factores de erosión.....	44
1.7 Uso del suelo.....	45
1.8 Evaluación Multicriterio (EMC).....	46

CAPÍTULO II. MARCO NORMATIVO, BIOENERGÉTICOS E HIGUERILLA

2.1 Marco normativo de energías renovables en México.....	49
2.2 Bioenergéticos.....	54
2.3 Biocombustibles.....	54
2.4 Estado del arte de la higuera como biocombustible.....	56
2.5 Caracterización de la especie de higuera (<i>Ricinus communis</i> L.).....	58
2.6 Descripción técnica de <i>Ricinus communis</i> L.....	60
2.7 Requerimientos agroecológicos para potencial productivo de higuera.....	61

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Modelo de requerimientos agroecológicos.....	66
3.2 Estimación de erosión hídrica mediante ecuación RUSLE.....	72
3.3 Clasificación supervisada de imagen satelital.....	77
3.4 Modelo de potencialidad mediante EMC.....	80

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Modelo de requerimientos agroecológicos.....	95
4.2 Estimación de erosión hídrica mediante ecuación RUSLE.....	99
4.3 Clasificación supervisada de imagen satelital.....	101
4.4 Modelo de potencialidad mediante EMC.....	104

DISCUSIÓN GENERAL.....	110
-------------------------------	------------

CONCLUSIONES.....	116
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	117
-----------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	118
--------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
1.	Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	17
2.	Mapa Geológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	19
3.	Mapa de Relieve de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	21
4.	Mapa de Climas en los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	23
5.	Mapa Hidrológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	25
6.	Mapa Edafológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	27
7.	Mapa de Vegetación y uso de suelo de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	29
8.	Resumen del Marco Normativo de Energías Renovables en México.....	52
9.	Criterios de sustentabilidad durante la generación de insumos.....	53
10.	Diagrama Metodológico.....	65
11.	Metodo para elaborar el modelo RAPPH.....	70
12.	Asignación de valores por variable, para potencial productivo de higuierilla.....	71
13.	Variables para ecuación RUSLE.....	76
14.	Modelo de adecuación óptima para introducción de higuierilla.....	81
15.	Metodo para EMC.....	84
16.	Restricciones para modelo EMC.....	92
17.	Variables normalizadas para modelo EMC.....	93
18.	Mapa de modelo RAPPH en uso de suelo agrícola.....	98

19.	Mapa grados de erosión.....	102
20.	Mapa de Clasificación supervisada con SPOT 2014.....	103
21.	Modelo de adecuación 1.EMC-RAPPH.....	107
22.	Modelo de adecuación 2.EMC-Erosión.....	108
23.	Modelo de adecuación 3.EMC-RAPPH-Ejido.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Fuente y escala de elementos físicos cartográficos.....	16
2.	Características geológicas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	18
3.	Rasgos y características geomorfológicas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	20
4.	Características climáticas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	22
5.	Hidrografía de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	24
6.	Descripción de las características de los suelos de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	26
7.	Uso de suelo Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	28
8.	Composición de la población por edad y sexo.....	30
9.	Características por actividad económica.....	32
10.	Criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles	36
11.	Tipos de análisis espacial.....	39
12.	Niveles de desagregación de potencial productivo.....	42
13.	Clasificación de usos de suelo y vegetación.....	46

14.	Instrumentos normativos en materia de energías renovables Sexenio 2007-2012.....	50
15.	Instrumentos normativos en materia de energía renovables Sexenio 2013-2018.....	51
16.	Ventajas y desventajas de los biocombustibles.....	55
17.	Clasificación Taxonómica <i>Ricinus communis</i> L.....	59
18.	Asignación de potencial productivo por variable.....	61
19.	Consideraciones técnico metodológicas para la producción de <i>Ricinus communis</i> L.....	62
20.	Objetivo, Método y Técnicas.....	64
21.	Elementos y fuentes de información (RAPPH).....	66
22.	Asignación de valor para temperatura media anual.....	67
23.	Asignación de valor para precipitación anual.....	67
24.	Asignación de valor para Altitud.....	68
25.	Asignación de valor para edafología.....	68
26.	Asignación de valor para textura de suelo.....	68
27.	Elementos y fuentes de información (RUSLE).....	72
28.	Asignación de valor para K en función de la unidad de suelo y textura, en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	73
29.	Asignación de valor para C en función del uso de suelo y vegetación, en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.....	74
30.	Elementos y fuentes de información (clasificación supervisada).....	77
31.	Agrupación de uso de suelo y vegetación.....	78
32.	Características de la información utilizada en EMC.....	80
33.	Valor reclasificado e idoneidad para factores y subfactores.....	85

34.	Valor reclasificado e idoneidad para restricciones.....	86
35.	Matriz de comparación por pares. Altitud.....	86
36.	Matriz de comparación por pares. Temperatura.....	86
37.	Matriz de comparación por pares para precipitación.....	87
38.	Matriz de comparación por pares para textura de suelo.....	87
39.	Matriz de comparación por pares para tipo de suelo.....	88
40.	Matriz de comparación por pares para erosión.....	88
41.	Matriz de comparación por pares para pendiente.....	89
42.	Matriz de comparación por pares para uso de suelo.....	89
43.	Matriz de comparación por pares 1. EMC-RAPPH.....	90
44.	Matriz de comparación por pares 2. EMC-RAPPH-Erosión.....	91
45.	Descripción por variable para RAPPH.....	95
46.	Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH.....	97
47.	Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH.....	99
48.	Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH.....	101
49.	Resultados por hectárea y porcentaje para imagen SPOT 2014 mediante clasificación supervisada.....	101
50.	Criterios de sustentabilidad para producción de biocombustibles considerados en los modelos de EMC.....	104
51.	Resultados por hectárea y porcentaje de acuerdo a potencialidad en modelos de adecuación mediante EMC	106
52.	Generación y uso de la información en propuesta de modelos de potencialidad para higuera.....	111
53.	Resumen de modelo EMC y modelo RAPPH.....	115

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de generar una propuesta de potencialidad espacial para la producción sustentable de biocombustible con higuera (*Ricinus communis* L.), en los municipios de Temascaltepec y San Simón de Guerrero al suroeste del estado de México. El desarrollo de los modelos se sustentó en la información de potencial para higuera a nivel nacional, los requerimientos agroecológicos de la especie, las políticas públicas que promueven su introducción y los criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles.

Los resultados expresan en 4 mapas, la potencialidad productiva calculada para México: alto (4-5 t/ha.), medio (2-3 t/ha.), y bajo (<2 t/ha.); el primer resultado se realizó mediante un modelo de requerimientos agroecológicos para potencial productivo de higuera (*Ricinus communis* L.) denominado RAPPH, los siguientes tres mediante el método de Evaluación Multicriterio (EMC): con los modelos cartográficos 1.EMC-RAPPH, 2.EMC-Erosión y 3.EMC-RAPPH-Ejido.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía sostenible responde a los siguientes retos energéticos a nivel mundial: la dependencia de fuentes fósiles, el deterioro del medio ambiente y el incremento y volatilidad de los precios en los productos derivados de los hidrocarburos; la Secretaría de Energía (SENER, 2015), menciona que en México los hidrocarburos aportaron el 87.2% de la producción de energía primaria, donde el sector transporte representó el 46.4% del consumo; para 2011 de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ocupamos el doceavo lugar en emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles lo que constituye el 1.5% de las emisiones globales.

En este sentido debido al peso que tiene el sector transporte en la emisión de bióxido de carbono, países industrializados han establecido políticas para promover el desarrollo de biocombustibles considerándolos una fuente de energía potencialmente sustentable debido a la posible reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), al desarrollo de economías regionales y al fortalecimiento de la seguridad energética (SENER, s.f). Ante la problemática México elabora y pone en funcionamiento la estrategia nacional de energía con tres ejes rectores: seguridad energética, eficiencia económico-productiva y sostenibilidad ambiental (ENE, 2014).

Una de las fuentes de energía renovable considerada clave para la transición energética de combustibles fósiles a fuentes renovables es la bioenergía obtenida de la biomasa (García y Masera, 2016), sus insumos bioenergéticos incluyen una gran variedad de materias primas cuyos cultivos implican plantaciones de rápido crecimiento con el objetivo de producir energía térmica, eléctrica o biocombustible (IMERE-WWF, 2013).

La higuera figura como una de las mejores opciones como insumo bioenergético debido a la presencia de indicadores que han corroborado su rentabilidad y

competitividad de manera favorable gracias a la introducción de tecnología mejorada (FAO, 2001), además de poder orientar su introducción a tierras marginales, donde asegurara la cobertura del suelo, y ha presentado potencial para reducir procesos erosivos (SENER, 2013).

García y Masera (2016), mencionan la necesidad de desarrollar metodologías y estudios que determinen el potencial de biomasa; siendo el desafío tecnológico definir con un Sistema de Información Geográfica (SIG) las mejores zonas de producción para cada especie potencial (FAO, 2011).

Uno de los retos y recomendaciones que afronta México en cuestión de biocombustibles de acuerdo con la Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO 2010), es favorecer los modelos de producción de insumos agrícolas para la fabricación de biocombustibles avanzados, en condiciones sociales y ambientales de respeto a las comunidades y a las regiones involucradas, promoviendo el desarrollo, diversificando la producción y generando beneficios medioambientales (Gómez *et al.*, 2013), considerando como restricciones de sustentabilidad la exclusión de áreas forestales y/o agrícolas (García y Masera, 2016).

En el año 2013, SAGARPA menciona en el apartado de impulso a la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica, la elaboración de tecnologías sustentables para la producción e introducción de insumos biocombustibles competitivos, donde el primer paso es la generación de mapas de potencial productivo de especies potenciales como higuera (*Ricinus communis* L.).

Instituciones como SENER, SAGARPA y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han elaborado cartografía de potencial a nivel nacional, regional y estatal para higuera y otras especies considerando datos base a escala 1:250,000 y/o 1:1'000,000 (INIFAP-SAGARPA, 2011,2012,2013,2014). Posibilitando la sobreestimación de la superficie de áreas potenciales, por lo que se requiere el empleo de escalas que proporcionen mayor

detalle (1:50,000), ampliando la posibilidad de su uso en estudios parcelarios por su obvia precisión (INIFAP-SAGARPA, 2002), la generación de un análisis a escala de proyecto puede fomentar el desarrollo local, promoviendo la creación de empleos sostenibles en el territorio de ubicación (Gómez *et al.*, 2013).

La cartografía resultante de los modelos deben permitir al productor tener mayor certeza e información sobre la toma de decisiones, al identificar las zonas con mayor potencial, como lo afirma SAGARPA (2013); los resultados de esta investigación pretenden ser utilizados para generar certidumbre en los mercados a través de la consulta de mapas de potencial productivo para introducción de higuierilla en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec donde los beneficiarios directos son los dueños de superficies consideradas aptas para cultivo de higuierilla.

Considerando la contextualización del tema y orientando el desarrollo de la investigación se formuló la siguiente hipótesis: “Si las características físicas de la zona favorecen el desarrollo de la higuierilla, entonces es posible identificar sitios potenciales para introducción mediante análisis espacial y tecnologías de información geográfica, con fines de producción sustentable de biomasa para biocombustible”.

El objetivo del presente trabajo de investigación es plantear sitios potenciales para la introducción de higuierilla (*Ricinus communis* L.), mediante análisis espacial y tecnologías de información geográfica, con fines de producción sustentable de biomasa para biocombustible, en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec al suroeste del Estado de México.

Para lograr el objetivo principal se elaboraron cuatro objetivos específicos orientados a integrar las necesidades agroecológicas de la especie y políticas gubernamentales que buscan promover su desarrollo de manera sustentable, el

resultado de los objetivos fueron dos modelos de potencialidad mediante diferentes metodologías y la generación de dos capas de información.

- Elaborar un modelo de requerimientos agroecológicos con potencial productivo para higuierilla (*Ricinus communis* L.) (RAPPH).
- Calcular el grado de erosión hídrica en la zona de estudio.
- Generar una capa de uso de suelo y vegetación actualizada.
- Elaborar un modelo de potencial productivo para higuierilla (*Ricinus communis* L.) mediante Evaluación Multicriterio (EMC).

En el primer objetivo específico se planteó y generó el modelo cartográficos de Requerimientos Agroecológicos con Potencial Productivo para Higuierilla denominado RAPPH, elaborado a partir de variables agroecológicas (altitud, edafología, textura, temperatura y precipitación), tomando en cuenta la metodología para potencial productivo propuesta por el INIFAP (2011, 2012, 2013, 2014).

Para el segundo objetivo se estimó el grado de erosión hídrica mediante el desarrollo de la ecuación RUSLE; en el tercer objetivo se generó una capa de uso de suelo y vegetación por medio de la clasificación supervisada de una imagen satelital SPOT 2014. El segundo y tercer objetivo se orientaron al desarrollo de información utilizada en la evaluación multicriterio.

En la elaboración del segundo modelo mediante EMC se generaron tres escenarios 1.EMC-RAPPH, 2.EMC-Erosión y 3.EMC-RAPPH-Ejido considerando los mismos criterios, constituidos en factores y restricciones, modificando para los escenarios 1 y 2 la jerarquía de las variables. La capa de información de erosión generada a partir de la ecuación RUSLE es la variable principal en el segundo escenario, mientras que la imagen por clasificación supervisada hizo parte de uno de los tres criterios para dirigir la introducción de higuierilla a sitios donde se priorizó el uso de suelo sin vegetación y las zonas de pastizal.

**CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS
MUNICIPIOS DE SAN SIMÓN DE GUERRERO
Y TEMASCALTEPEC**

De acuerdo con Méndez y Cartaya (2008), la caracterización del área de estudio representa el referente del contexto ambiental en la investigación, donde es posible inventariar y describir variables del medio físico, biológico y socioeconómico; en este sentido la caracterización para este trabajo de investigación presenta una breve descripción de las características físicas y socioeconómicas de la zona de estudio, con la representación cartográfica de ubicación, geología, relieve, edafología, clima, hidrología, edafología, uso de suelo y vegetación (Tabla 1).

Tabla 1. Fuente y escala de elementos físico cartográficos

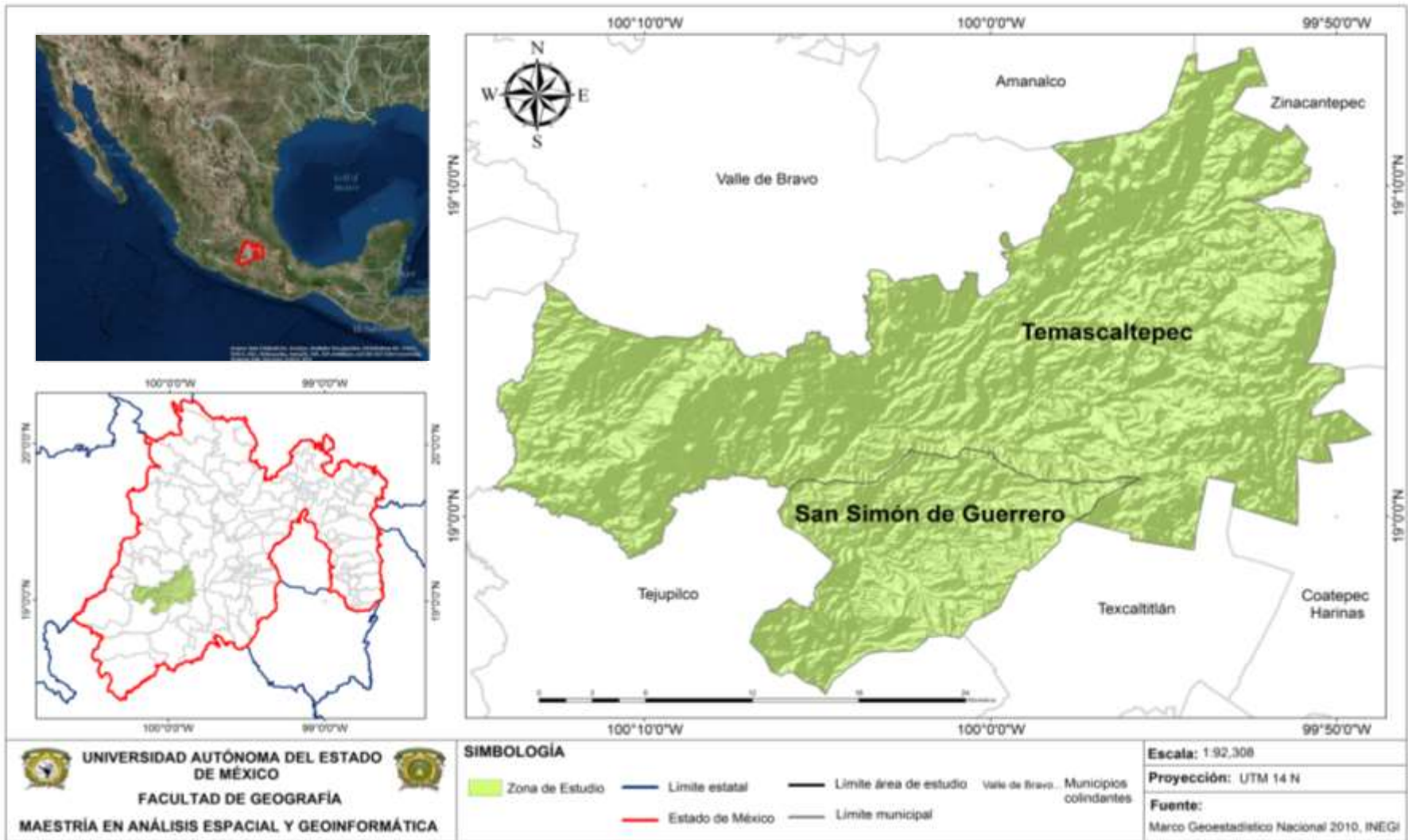
Elementos	Escala	Fuente
Ubicación		Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2010
Geología	1:250 000	Conjunto de datos geológicos, INEGI, 2011
Relieve	Resolución 15m x 15m	Continuo de elevación Mexicano (CEM 3.0), INEGI, 2013
Clima	1:1 000 000	Unidades climáticas, INEGI, 2008
Hidrología	1:50 000	Red hidrográfica RH18, INEGI, 2007
Edafología	1:250 000	Conjunto de datos vectorial edafológico serie II (Continuo Nacional), INEGI, 2006
Vegetación y uso de suelo	1:250 000	Datos vectoriales serie V (Capa Unión), INEGI, 2013

Fuente: elaboración propia.

Ubicación

La zona de estudio comprende los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec ubicados en la parte suroeste del Estado de México, cubren una superficie de 67,492 hectáreas (INEGI, 2010), lo que representa el 3.1% de la superficie del territorio estatal (INEGI, 2015); limitan al norte con Amanalco y Valle de Bravo, al este con Zinacantepec y Coatepec Harinas, al sur con Texcaltitlan y Tejupilco; y al Oeste con Zacazonapan (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Geología

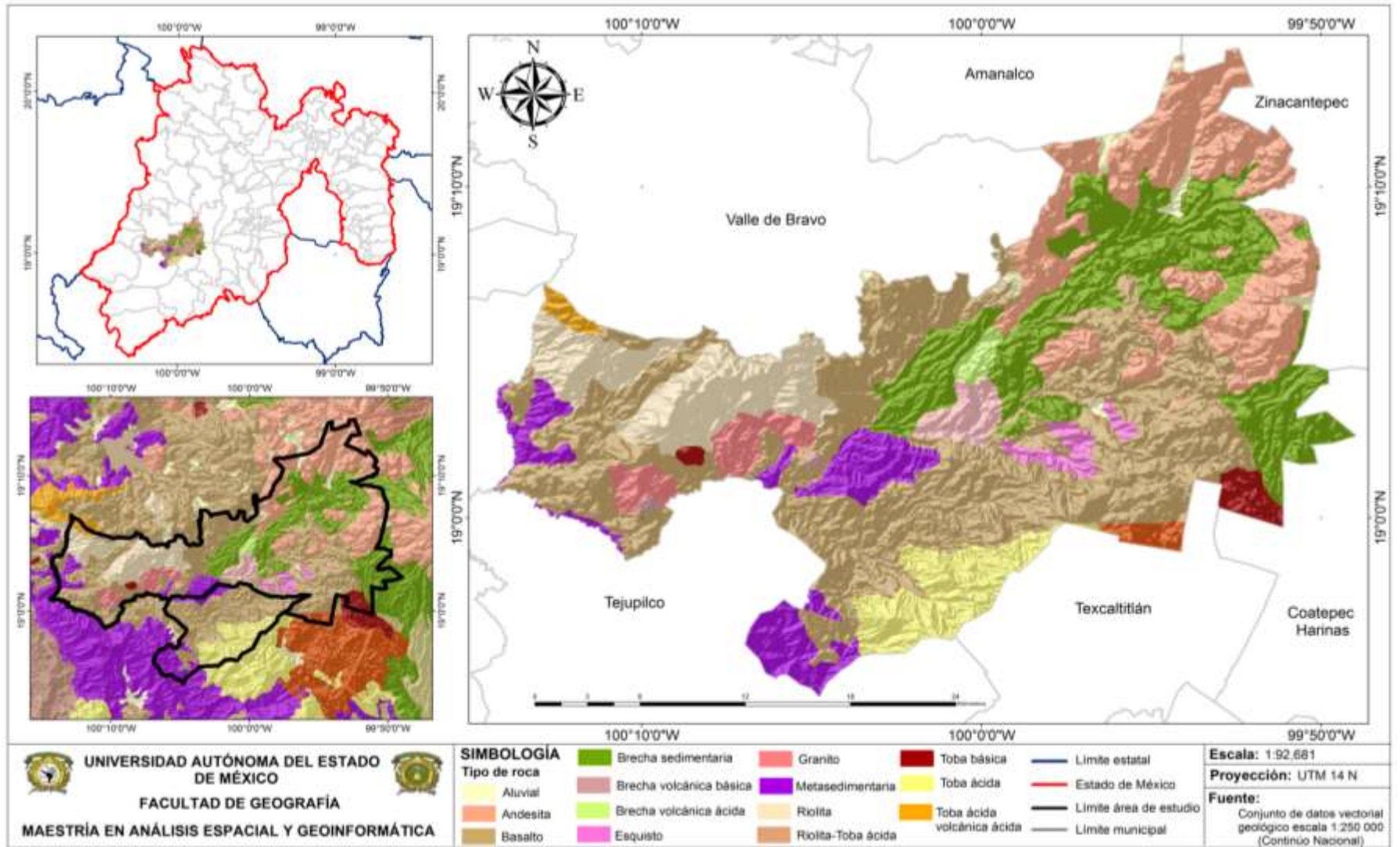
La litología del Estado de México está constituida por afloramientos de rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan la mayor extensión (Tabla 2, figura 2). Las rocas de las entidades datan desde el Triásico (metamórficas), hasta el Cuaternario (representado por rocas ígneas de composición basáltica, además de depósito lacustre y aluvial). El municipio de San Simón de Guerrero está conformado únicamente por tres tipos: tobas acidas, metasedimentarias y basaltos (Conjunto de datos geológicos, INEGI, 2011).

Tabla 2. Características geológicas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Entidad	Clase	Clave	Tipo	Porcentaje de superficie
Suelo	N/A	Q(al)	Aluvial	1.08
Unidad Cronoestratigráfica	Ígnea extrusiva	Ts(A)	Andesita	16.30
	Ígnea extrusiva	Q(B)	Basalto	37.83
	Ígnea extrusiva	Q(B-Bvb)	Basalto-Brecha volcánica básica	0.72
	Sedimentaria	Ts(bs)	Brecha sedimentaria	19.12
	Ígnea extrusiva	Ts(Bva)	Brecha volcánica ácida	0.64
	Ígnea extrusiva	Q(Bvb)	Brecha volcánica básica	0.23
	Ígnea extrusiva	Ts(Da-Ta)	Dacita-Toba ácida	1.58
	Ígnea intrusiva	M(E)	Esquisto	1.33
	Ígnea extrusiva	K(Gr)	Granito	2.59
	Metamórfica	Js-Ki(Ms)	Metasedimentaria	6.51
	Ígnea extrusiva	Ts(R)	Riolita	5.82
	Ígnea extrusiva	T(Ta)	Toba ácida	4.91
	Ígnea extrusiva	Ts(Ta-Bva)	Toba ácida Brecha volcánica ácida	0.13
	Ígnea extrusiva	Q(Tb)	Toba básica	1.22

Fuente: Elaboración propia con base en Conjunto de datos geológicos, INEGI, 2011.

Figura 2. Mapa Geológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.



Relieve

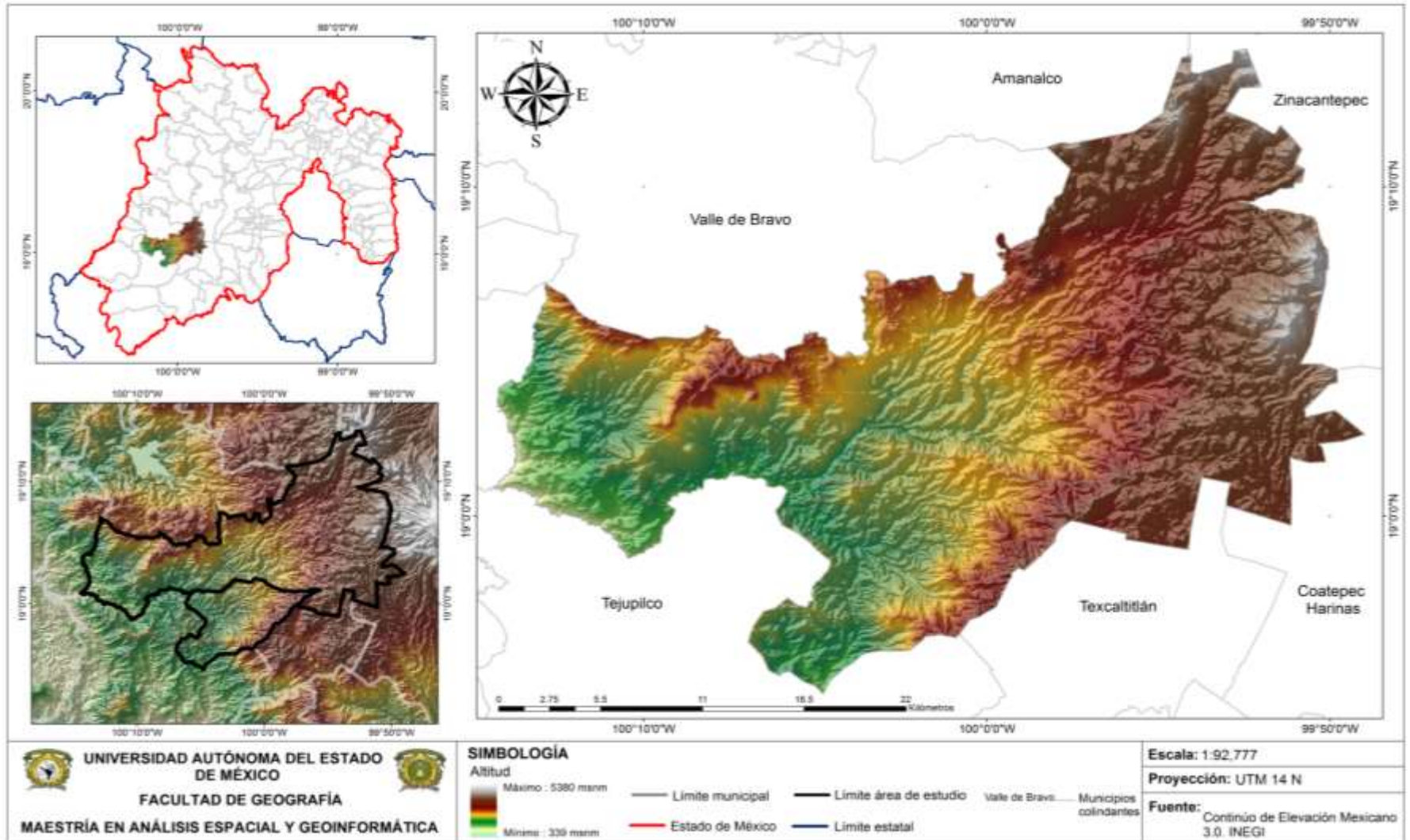
La zona se ubica entre las provincias fisiográficas del Sistema Neovolcánico Transmexicano y Depresión del Balsas, que le confieren un relieve accidentado caracterizado por geoformas diversas, donde predominan superficies montañosas, depresiones profundas, valles y en menor proporción planicies; los rangos hipsométricos van de los 500 a los 2,800 msnm con pendientes de 0%, 25% y superiores (Tabla 3, figura 3).

Tabla 3. Rasgos y características geomorfológicas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Municipio	Rango Hipsométrico	Elevaciones Montañosas	Pendientes
San Simón de Guerrero	1600-2800 msnm	Cerro Rancho Viejo Cerro El Calvario Cerro Colorado Cerro la Cumbre Cerro Los Toros Cerro Los Tejocotes Cerro Los Cimientos Cerro La Avanzada Cerro Los Magueyes Cerro Los Pitajos, Cerro Los Berros	Entre 2% y 25%
Temascaltepec	1800-3600 msnm	Cerro El Temeroso Cerro la Soledad El Peñón Cerro los Tres Reyes Cerro Juan Luis Sierra de Temascaltepec.	Entre 5% y mayor a 25%

Fuente: elaboración propia con base en PMDU San Simón de Guerrero, PMDU Temascaltepec.

Figura 3. Mapa de Relieve de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.



Clima

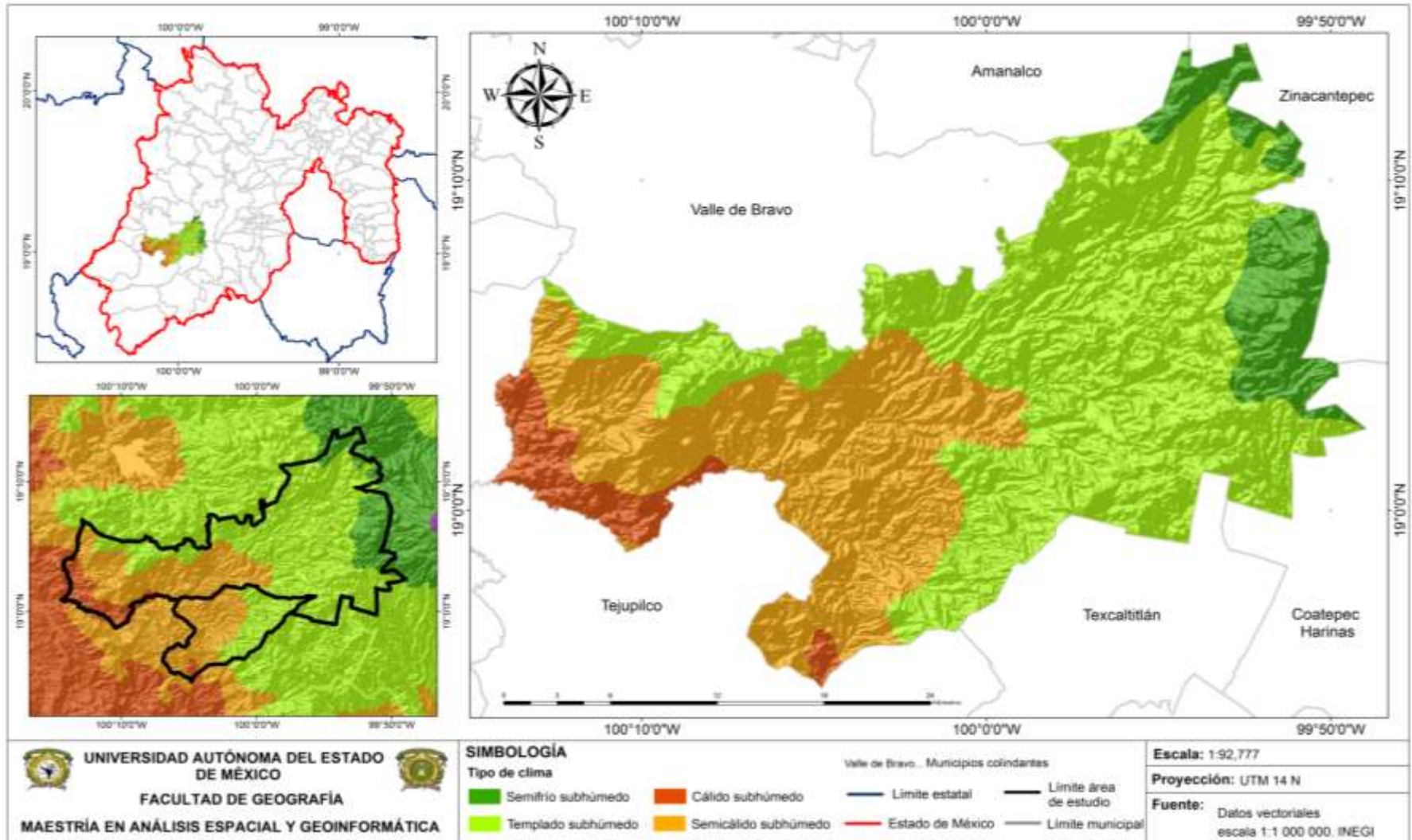
En los dos municipios de estudio se encuentran presentes cuatro tipos de clima (Tabla 4, figura 4): Cálido subhúmedo Aw1(w)(i)g, con humedad moderada, porcentaje de precipitación invernal inferior a 5%, poca oscilación termica anual de 5° y 7° C; Semicalido subhúmedo A(C)w2(w)(i)g, siendo el más húmedo de los húmedos, con precipitación de invierno menos a 5%, con escasa variación termica y temperatura más elevada antes del solsticio de verano; Templado subhúmedo C(w2)(w)b(i)g, con verano largo y lluvia invernal inferior a 5%, es isotermal y la temperatura más elevada se manifiesta antes del solsticio de verano y Semifrío subhúmedo C(E)(w2), con porcentaje de precipitación invernal menor a 5%, el verano es largo e isotermal y la temperatura más elevada presente antes del solsticio de verano (Unidades climáticas, INEGI, 2008)

Tabla 4. Características climáticas de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Características generales	
Cálido subhúmedo Aw1(w)(i)g	Suroeste
Semicalido subhúmedo A(C)w2(w)(i)g	Del centro al suroeste
Templado subhúmedo C(w2)(w)b(i)g	Del centro hacia el noreste
Semifrío subhúmedo C(E)(w2)	Parte noreste
Temperatura promedio anual	18° y 22° C
Meses de temperaturas más altas	Abril y mayo
Meses de temperaturas más bajas, con presencia de heladas	Diciembre, Enero y Febrero
Precipitación media anual	1,375 mm
Máxima incidencia en lluvias	Junio a Septiembre
Minima incidencia en lluvias	Diciembre a Marzo

Fuente: elaboración propia con base en Unidades climática, INEGI, 2008., PDU, 2010., PDM, 2016-2018.

Figura 4. Mapa de Climas en los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.



Hidrología

La zona de estudio se encuentra en la Región hidrológica RH18 Balsas, y abarca dos cuencas y cinco subcuencas (Red hidrográfica RH18, INEGI, 2007).

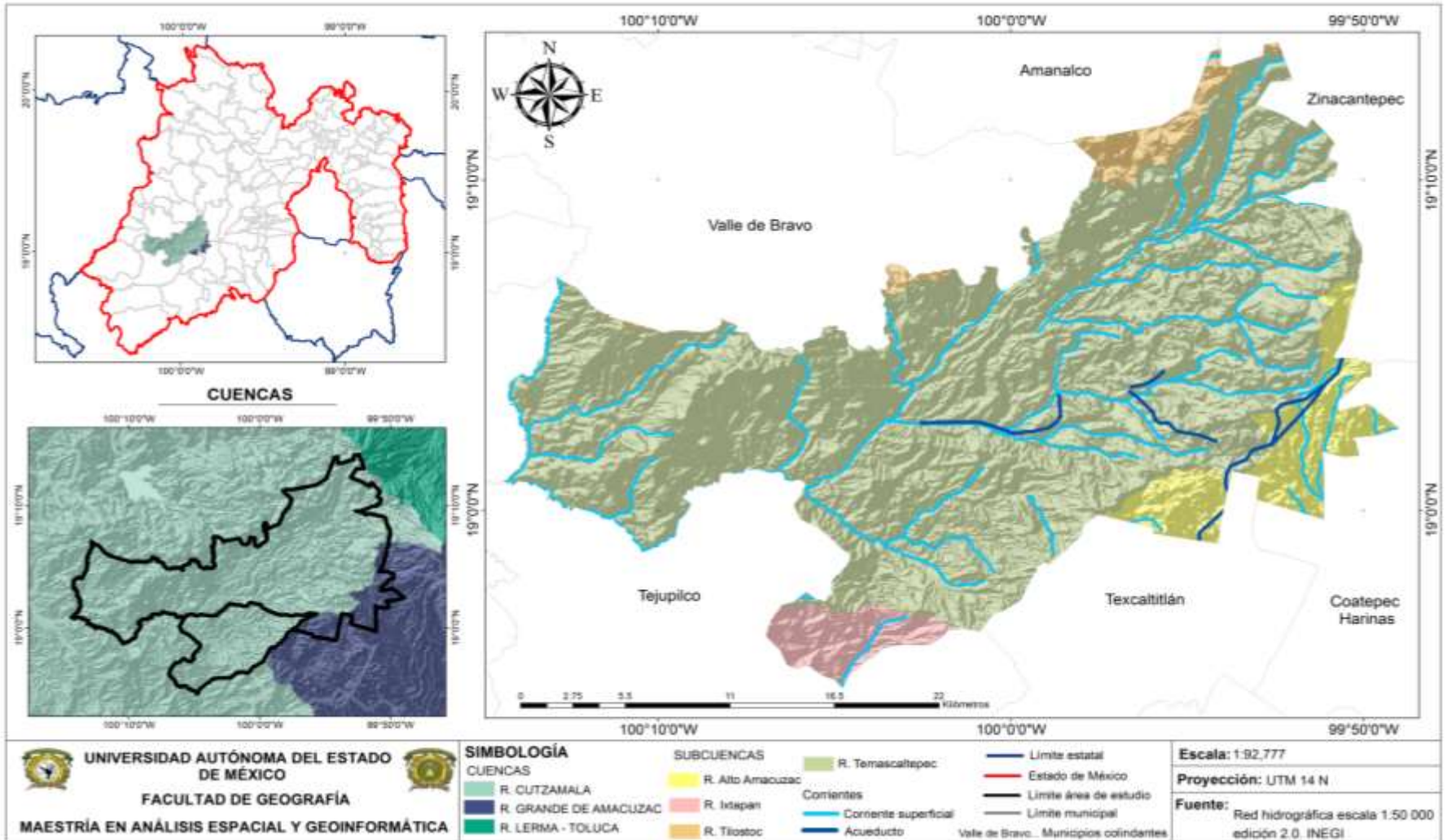
La subcuenca del Río Temascaltepec se extiende aproximadamente en el 90% de la superficie, la conformación de esta subcuenca está dada por el parteaguas sur y poniente del Nevado de Toluca (Tabla 5, figura 5).

Tabla 5. Hidrografía de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Municipio, Cuencas y subcuencas	Ríos de caudal permanente	Arroyos de caudal permanente y/o intermitente	Manantiales y ojos de agua
San Simón de Guerrero Cuencas: R. Cutzamala R. Grande de Amacuzac Subcuencas: Temascaltepec Tilostoc Alto Amacuzac Tejalpa	El Clilero La Hucha La Perilla La Hierbabuena Río Grande La Manzana La Pilita	El Pelambre Salitrillo El Rincón Malpaso Los Pasitos Colorado El Potrero San Juan Los Jocoyoles Los Jales	Los Burritos La Casita Las Peñas Milpas Viejas Los Pasitos El Meco Barranca Honda
Temascaltepec Cuencas: R. Cutzamala Subcuencas: Temascaltepec Ixtapan	Río Temascaltepec Río Frío Río El Vado Río Verde Río Palo Ancho	El Campanario El Castellano Arrollo Confites Agua Zarca La Hortaliza Peña Blanca	El Ojo de Agua Las Juntas Chichota

Fuente: elaboración propia con base en PMDU San Simón de Guerrero, PMDU Temascaltepec., Red hidrográfica, subcuenca hidrográfica RH18, INEGI, 2007.

Figura 5. Mapa Hidrológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.



Edafología

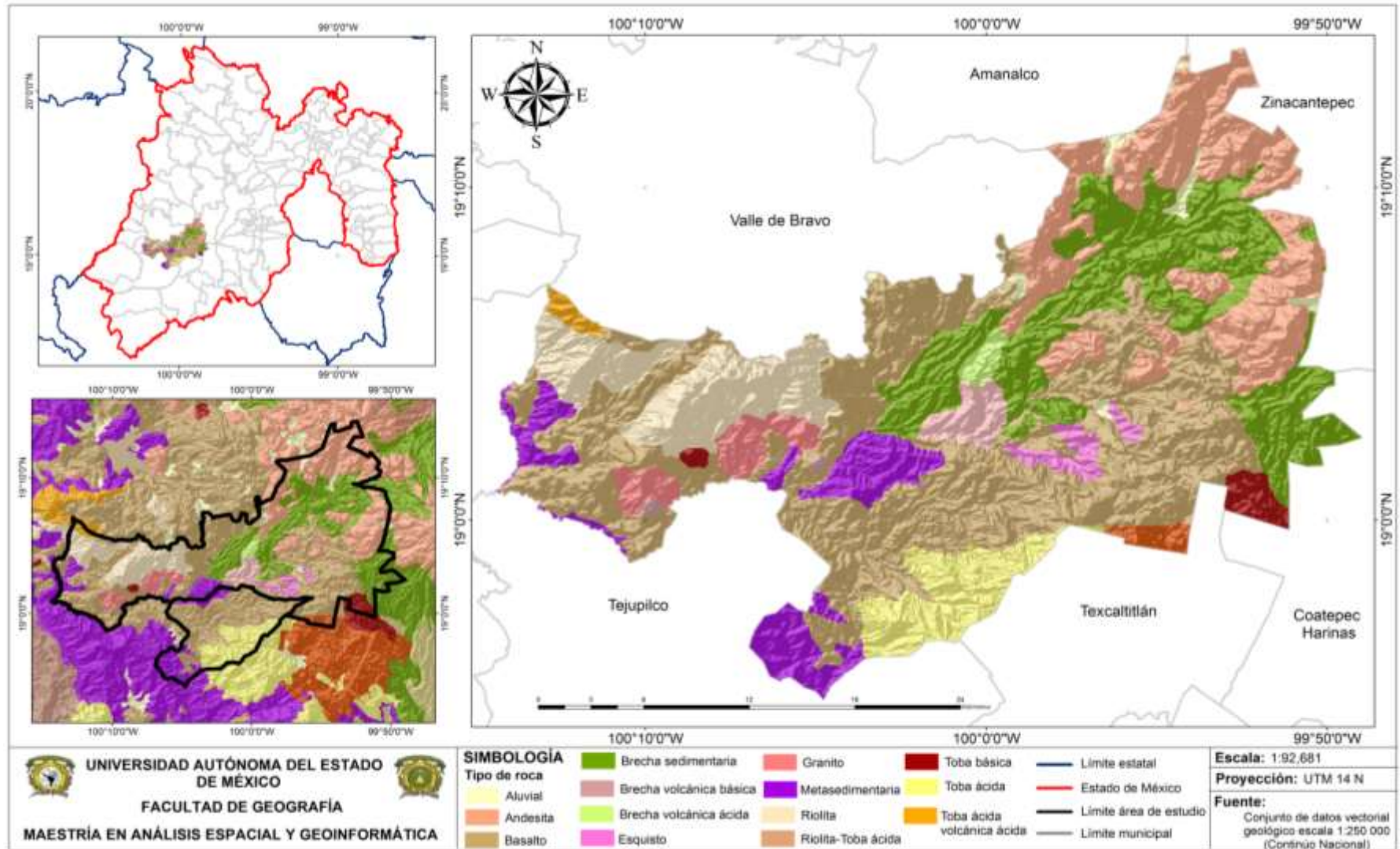
En la región existe la presencia de 9 grupos de suelo (Conjunto de datos vectorial edafológico, INEGI, 2006) de las cuales tres abarcan el 82% de la superficie, respectivamente: Andosol 46.4%, Cambisol 25.3% y Feozem 10.2% (Tabla 6, figura 6).

Tabla 6. Descripción de las características de los suelos de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Tipo de suelo	Características
Acrisol	Suelos con horizonte "A" ócrico o úmbrico (capa superficial de color oscuro, rico en materia orgánica y pobre en nutrientes) y "B" argílico (capa, por lo general está ubicada debajo de un horizonte "A" en la que ha habido acumulación de arcilla), muy pobres en nutrientes y ácidos. Este tipo de suelo presenta restricción para llevar a cabo la actividad agrícola, dado que retiene nutrientes que no permiten la adecuada fertilidad.
Andosol	En condiciones naturales tienen vegetación de selva o bosque. Se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, por sus colores rojos, amarillos o amarillos claros con manchas rojas, muy ácidos y pobres en nutrientes
Cambisol	Caracterizado por ser un suelo con horizonte "A" ócrico o úmbrico (capa superficial de color oscuro, rico en materia orgánica y pobre en nutrientes) y "B" cámbico. Éste se caracteriza por presentar restricciones al uso agrícola, debido a que retiene el agua y los nutrientes necesarios para las plantas.
Feozem	Estos suelos son identificados por su horizonte "A" mólico (capa superficial de color oscuro, rico en materias orgánicas y nutrientes), además de presentar una fertilidad de moderada a alta. A diferencia de los anteriores, el suelo feozem, resulta apto sin restricciones tanto para la actividad agrícola como para la promoción del uso urbano.
Litosol	Suelo no apto para la actividad agrícola, por ser prácticamente roca y no tener suelo. Para uso urbano, se presenta restricción porque su potencial de excavación es sumamente bajo y su posibilidad de uso se limita a otras condiciones como grados de pendiente no muy altos y que el tipo de roca no sea muy dura.
Luvisol	Se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados.
Regosol	Formado por material suelto que no sea aluvial reciente. Presenta restricción para promover la actividad agrícola, ya que generalmente es de baja fertilidad y retención de la humedad, motivo por el cual el uso para la agricultura se limita a cultivos semiresistentes a las sequías.
Vertisol	Suelos de textura arcillosa y pesada que se agrietan notablemente cuando se secan. Debido a esta característica, es un suelo que resulta apto para la agricultura y altamente productivo, no obstante que cuenta con cierta restricción, misma que se atribuye a que este tipo de suelo presenta dificultades para la labranza.

Fuente: Conjunto de datos vectorial edafológico, INEGI, 2006., Guía de interpretación edafológica, INEGI, 2015., FAO, 2006.

Figura 6. Mapa Edafológico de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec.



Vegetación y uso de suelo

De acuerdo con Rzendowski (1978), los tipos de vegetación presente son bosque de *Abies*, bosque de *Abies-Pinus*, bosque de *Pinus*, bosque de *Pinus-Quercus*, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio; además de vegetación secundaria arbórea y arbustiva, pastizal inducido y agricultura de temporal y riego (Conjunto de datos uso de suelo y vegetación serie V, INEGI, 2013) (Tabla 7, figura 7).

Las características bióticas en bosques en el estrato medio de 18.0 metros de altura, la densidad promedio de 100 árboles por hectárea con explotación para consumo local (GEM, 2010 y GEM 2004).

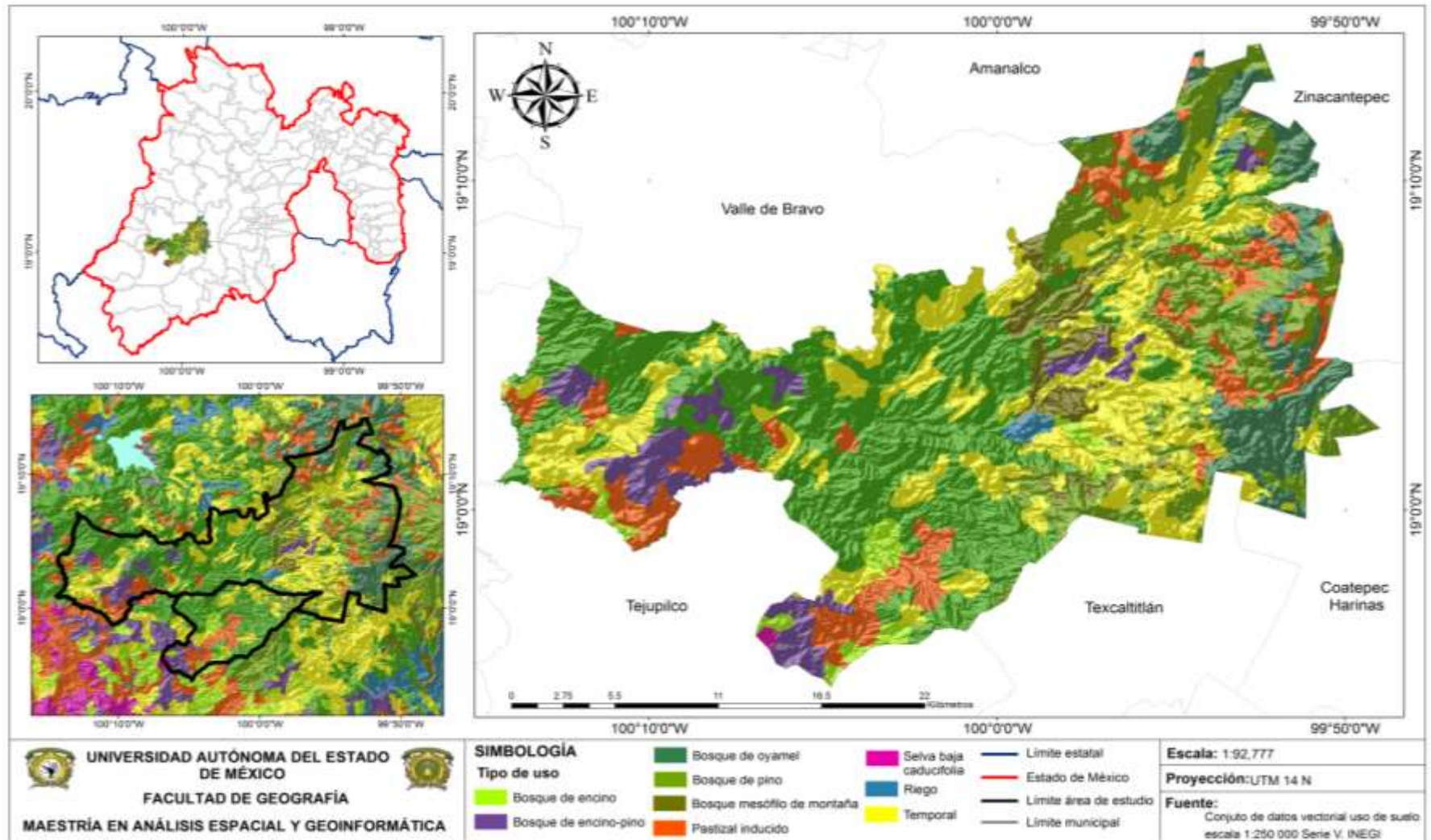
Entre las asociaciones de *Pinus*, en algunos sitios conservados y en otros perturbados por la tala continua, se destaca la presencia de la especie *Ricinus communis* L. dentro del estrato arbustivo (Rojas *et al.*, 2016).

Tabla 7. Uso de suelo Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Uso de suelo y vegetación	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Agricultura de riego anual	855.7	1.3
Agricultura de temporal anual	15595.7	23.2
Asentamientos humanos	161.5	0.2
Bosque de encino	154.7	0.2
Bosque de encino-pino	1997.1	3.0
Bosque de oyamel	5667.2	8.4
Bosque de pino	9226.2	13.7
Bosque de pino-encino	13293.4	19.7
Bosque mesófilo de montaña	2580.4	3.8
Pastizal inducido	7052.3	10.5
Vegetación secundaria arbórea	4057.6	6.0
Vegetación secundaria arbustiva	6697.6	9.9
Total	67334	100.0

Fuente: elaboración propia con base en conjunto de datos Uso de suelo y vegetación, serie V, INEGI, 2013.

Figura 7. Mapa de Vegetación y uso de suelo de los Municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec



SOCIOECONÓMICO

La zona de estudio conformada por los municipios de Temascaltepec y San Simón de Guerrero tienen una población total de 37,623 habitantes (INEGI, 2015), el 84% concentrados en el municipio de Temascaltepec y el 14% restante en San Simón de Guerrero (Tabla 8).

Tabla 8. Composición por edad y sexo

Composición por edad y sexo	Temascaltepec	San Simón de Guerrero
Población total	31,613 habitantes	6,010 habitantes
Edad media	23 años	23 años
Razón de dependencia por edad	69.6 Existen 69 personas en edad de dependencia por cada 100 habitantes en edad productiva	72.4 Existen 72 personas en edad de dependencia por cada 100 habitantes en edad productiva
Densidad de población	55.7 hab/km ²	46.0 hab/km ²

Fuente: Elaboración propia con base en Panorama sociodemográfico del Estado de México, INEGI, 2015.

En la zona existen 8,987 viviendas con servicios básicos de electricidad y servicio sanitario, con baja presencia del servicio de agua entubada (Tabla 8). La vivienda propia es el tipo de tenencia que prevalece, superior al 80% (INEGI, 2015); esta característica en la propiedad favorece el otorgamiento de créditos para vivienda inicial y mejoramiento físico de la misma, otorgados por el Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONAPHO) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) (GEM-IGECEM-INEGI, 2015).

La cantidad de infraestructura en educación básica (preescolar 71, primaria 74 y secundaria 43) (GEM-IGECEM-INEGI, 2015), influye en el grupo de mayor asistencia (6 a 14 años) y garantiza que el 68% de la población de 15 años y más cuenta con educación de este nivel (INEGI, 2015), sin embargo la falta de escuelas establecidas en determinadas poblaciones, sobre todo las de nivel superior (5 escuelas de bachillerato en el áreas de estudio, GEM-IGECEM-INEGI, 2015), origina el traslado a otras comunidades, problemática que aumenta el

rezago educativo (GEM, 2016), y determina la movilidad escolar en el grupo de 15 a 24 años, de manera particular en el municipio de San Simón de Guerrero (15.7% del 45.3% de este grupo) (INEGI, 2015).

El 97% de la población tiene afiliación a los servicios de salud, donde el seguro popular abarca el 85.3% del total de afiliados, en segundo lugar el ISSSTE con el 12.4% (INEGI, 2015); para brindar este servicio se cuenta en los municipios con 17 unidades de consulta externa y 2 de hospitalización general (GEM-IGECEM-INEGI, 2015).

La población económicamente activa (PEA) es mayoritariamente masculina 77.8% (Temascaltepec) y 71.5% (San Simón de Guerrero) respectivamente, mientras que el grupo con mayor población no económicamente activa son aquellas dedicadas a los quehaceres del hogar, seguidas de estudiantes.

Dentro de las actividades primarias la agricultura se ve favorecida por la diversidad de climas, los dos principales tipos de cultivo son la avena forrajera y aguacate (GEM-IGECEM-INEGI, 2015), hay presencia de superficie sembrada con chícharo, frijol, maíz forrajero, grano, papa, jitomate y tomate; en cuanto a cultivo de flores: agapanto, alcatraz, ave de paraíso, crisantemo y gladiola; y en huertos frutícolas: aguacate, guayaba, durazno, café, limón y manzana (GEM, 2016., GEM 2004).

El ganado bovino es el de mayor producción en ambos municipios, con menor número de unidades se encuentra el porcino (GEM-IGECEM-INEGI, 2015).

En los municipios se realiza el aprovechamiento forestal, con una producción maderable principalmente de latifoliadas; se elaboran cuatro productos (carbón, celulósicos, escuadría y leña) de los cuales la escuadría es la de mayor fabricación (GEM-IGECEM-INEGI, 2015) (Tabla 9).

En la actividad económica secundaria, destaca la industria extractiva con 5 minas en explotación, la Guitarra con extracción de minerales como oro y plata (Tabla 9), Trituradora San Pedro, Matlazincas, La Cumbre y Agua Zarca para extracción de grava, arena y asfalto (GEM, 2016).

Tabla 9. Características por actividad económica

Actividad económica	San Simón de Guerrero	Temascaltepec
Agricultura	Superficies sembrada y cosechada por tipo de cultivo (Hectáreas) (Principales tipos de cultivo)	
		Avena forrajera 942 Aguacate 800
Ganadería	Volumen de producción de ganado y ave en pie (Toneladas)	
	Bovino 749	Bovino 2,102
	Porcino 140	Porcino 224
	Ovino 29	Ovino 76
	Caprino 8	Caprino 15
	Ave 65	Ave 124
	Guajolote 7	Guajolote 22
Aprovechamiento forestal	Volumen de producción forestal maderable según grupo de especies (Metros cúbicos rollo)	
	Latifoliadas 353	Latifoliadas 32965
	Coníferas 90	Coníferas 1405
	Volumen de la producción forestal maderable según grupo de productos	
	Total 443	Total 34370
	Carbón	Carbón 291
	Celulósicos	Celulósicos 210
Escuadría 443	Escuadría 32621	
Leña	Leña 1248	
Minería	Volumen de producción de minerales (Toneladas)	
		Plata 19,383 Oro 197

Fuente: Elaboración propia con base en GEM-IGCEM-INEGI, 2015.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

El marco teórico-conceptual se conformó a partir de la conceptualización de la geografía y el enfoque sistémico mediante el cual se pueden automatizar los procesos a través de sistemas de información geográfica; se consideró incorporar un marco normativo de energías renovables en México, en donde se mencionan los planes, las leyes, las estrategias y los programas para la introducción y el manejo de los bioenergéticos. Se incorporaron los conceptos de biocombustibles, así como el estado del arte de la higuera como bioenergético, el aprovechamiento sustentable de la especie y la caracterización.

1.1 GEOGRAFÍA CUANTITATIVA

A finales del siglo XIX, la geografía desarrolló una transformación a ciencia humana, la geografía cuantitativa, desarrollada a mediados del siglo XX, como un nuevo paradigma del pensamiento geográfico preocupado por establecer las leyes que rigen las pautas de distribución espacial, apoyándose en la matemática como lenguaje de la ciencia y en la geometría como lenguaje de la forma espacial. La matriz de datos geográfica unificará ambos componentes como sistema organizador de datos espaciales con posibilidades analíticas. Las propuestas de investigación bajo posturas cualitativas y sistémicas, se orientaron a la construcción de modelos que representan rasgos estructurales y funcionales de la organización espacial (Buzai *et al.*, 2015).

Una definición de geografía cuantitativa, sería la retomada por Bosque *et al.*, (1983) considerada como ciencia que utiliza modelos matemáticos y análisis estadísticos y no únicamente la manipulación aritmética de los datos. Y cuyo principal interés era convertir a la geografía tradicional en una disciplina científica, planteando la necesidad de abordar el espacio geográfico de una manera diferente, es decir desde el punto de vista de la planeación (Gutiérrez, 2011).

La geografía aplicada a partir de estas concepciones teóricas-conceptuales y el uso de los SIG, estaría fundamentado la concepción de la geografía como ciencia del espacio; y estos tal como lo refiere Del Cid (2009), presentan la posibilidad de

abordar el espacio geográfico mediante el análisis de los problemas sociales, económicos y ambientales reuniendo gran cantidad de datos. Finalmente como lo destaca Buzai (2015), dentro de este contexto en el que se evidencia el papel social de la ciencia y la geografía cuantitativa demuestra constantemente su utilidad como herramienta que apoya el proceso de toma de decisiones en materia territorial.

1.2 SUSTENTABILIDAD

Martínez *et al.* (2012), sostienen que la sustentabilidad implica un desarrollo basado en términos tanto cuantitativos como cualitativos, soportado en tres dimensiones: social, económico y medioambiental.

Los principios metodológicos de sustentabilidad han abierto un debate con respecto a la producción de bioenergía identificando los impactos: ambientales sobre las propiedades biofísicas y ecológicas de los sistemas; sociales debido competencia de la tierra dedicada a la producción de alimentos y al desplazamiento de pequeños productores; económicos, la bioenergía debe ser competitiva en cuanto a costos de producción con respecto a los combustibles fósiles (Masera *et al.*, 2011).

El enfoque integrado orientado al uso sustentable de la bioenergía indica que se debe priorizar el aprovechamiento de desechos o subproductos de otras actividades para diversificar la oferta biomásica, así mismo ejecutar esquemas de manejo sustentable de bosques y paquetes agroecológicos para las zonas agrícolas, complementando más que compitiendo con otros usos del suelo y fomentar la participación y los beneficios en las poblaciones locales (Masera *et al.*, 2011).

Existe una propuesta por parte de la Red Mexicana de Bioenergía (Bustamante y Masera, 2016), sobre los criterios ambiental, social y económico de sustentabilidad y su aplicación a nivel nacional y de proyecto (Tabla 10).

Tabla 10. Criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles en México

	Principio	Criterio
Ambiental	Reducción de GEI	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conservación de los almacenes sobre y debajo del suelo de carbono 2. El uso de biocombustibles debe generar una reducción neta de emisiones de GEI
	Maximizar el índice energético	<ol style="list-style-type: none"> 1. La energía generada por los biocombustibles debe ser mayor que la energía utilizada en su producción
	Cambios en el uso de suelo y competencia por alimentos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar el uso de suelo con vegetación nativa a cultivos biocombustibles 2. No usar cultivos básicos para la producción de biocombustibles (i.e. maíz en México) 3. Fomentar el uso de tierras degradadas 4. Evitar la conversión de tierras destinadas a la producción de alimentos
	Conservación de la biodiversidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preservación y mejora de la biodiversidad en los lugares de producción o que pueda verse afectada por esta 2. Evitar contaminación de áreas naturales y protegidas cercanas a la unidad de producción 3. Evitar el uso de OMG's 4. Uso ambientalmente racional de la biotecnología
	Manejo sustentable del agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación de técnicas agroecológicas 2. Mantenimiento y mejora de la calidad del agua 3. Mejora de las técnicas de irrigación
	Conservación del suelo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación de técnicas agroecológicas para minimizar la erosión y pérdida de fertilidad del suelo 2. Planes de manejo en el caso de sequías e inundaciones 3. El uso de pesticidas debe ser restringido a la demanda necesaria y justificado con pruebas documentales

	Principio	Criterio
Ambiental	Calidad del aire	<ol style="list-style-type: none"> 1. No realizar prácticas de quema para la limpieza de tierras o eliminación de residuos 2. Uso de mejores prácticas en la producción y procesamiento de la biomasa para reducir las emisiones de GEI y la contaminación del aire
Social	Propiedad de la tierra	<ol style="list-style-type: none"> 1. La producción de biocombustibles no debe ser causa de volatilidad en los precios de los alimentos, de los terrenos y cerca del área a la unidad de producción 2. La tenencia y derechos de uso de la tierra deberán estar claramente definidos y legalmente establecidos y ser respetados
	Condiciones laborales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Condiciones adecuadas de trabajo para los empleados <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Salud y seguridad 1.2 Salarios y compensaciones 1.3 Acceso a servicios (i.e. agua potable, educación, transporte) 1.4 Horario de trabajo 2. No discriminación 3. No trabajo forzado 4. Evitar y prevenir el trabajo infantil 5. Libertad de asociación y derecho a la negociación colectiva 6. Los derechos de grupos indígenas deben ser respetados
	Desarrollo social	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oportunidades de acceso a pequeños productores 2. Evitar efectos negativos en la economía nacional o regional 3. Contribución activa al bienestar de la población local 4. Creación de trabajos 5. Apoyo a desarrollos de infraestructura en la localidad 6. Mejora de la gestión ambiental a nivel local 7. La producción de biocombustibles no debe interferir en la generación de otras oportunidades de desarrollo de la localidad
Económico	Viabilidad económica	<ol style="list-style-type: none"> 1. La producción de biocombustibles debe ser rentable y competitiva ante el uso de combustibles fósiles 2. La producción de biocombustibles debe llevarse a cabo de manera integrada maximizando el valor agregado tanto del biocombustible como de sus derivados

Fuente: Bustamante y Masera, 2016.

1.3 TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Rodríguez y Olivella (2009), definen a las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) mediante dos conceptos: el de información geográfica (IG) entendida como información sobre un elemento de la superficie de la tierra, es el conocimiento sobre “dónde” hay algo o “qué hay” en un determinado lugar, y las tecnologías para obtener y procesar información entre las que se encuentran:

Sistemas globales de navegación por satélite. Son sistemas utilizados para determinar la posición geográfica de un usuario mediante un receptor que en cualquier parte del mundo recibe las señales transmitidas por una constelación de satélites.

Teledetección y sensores remotos. La teledetección es la técnica que permite la obtención de imágenes de la superficie terrestre mediante el análisis manual o automático de los datos originados desde plataformas como satélites o aviones.

Sistemas de Información Geográfica (SIG). Son sistemas para la entrada, almacenamiento, manipulación y salida de información geográfica; estos sistemas complejos están integrados por una serie de elementos interrelacionados, de acuerdo a Olaya (2014) e INEGI (2014), son cinco elementos principales que se contemplan tradicionalmente:

Los datos son la materia prima necesaria para elaborar un SIG, contienen información geográfica (georeferenciada), actualizada, completa y útil para las aplicaciones. Los Métodos forman parte del conjunto de formulaciones y/o metodologías a aplicar sobre los datos, con suficiente detalle y probadas, software especializado para trabajar con datos e implementar los métodos anteriores en un hardware o equipo necesario con la capacidad para ejecutar el software.

1.4 ANÁLISIS ESPACIAL

Dentro de las funcionalidades básicas de los SIG se encuentra el análisis, con ayuda de ordenadores con enorme capacidad de cálculo, es una de las razones que ha llevado al crecimiento y evolución de los mismos (Olaya, 2014).

Londoño y Valdés (2016), conceptualizan el análisis espacial como una técnica de construcción de modelos para representar la realidad mediante datos espaciales, basándose en técnicas exploratorias o confirmatorias, que ayuden a identificar o generar patrones, procesos, anomalías, hipótesis, teorías, datos y/o conocimientos espaciales.

Dartmouth (2017), refiere que a través del análisis espacial se busca explicar los patrones de comportamiento en términos matemáticos y geométricos, abordados mediante procedimientos de análisis que realizan diferentes operaciones a partir de datos espaciales (Tabla 11).

Tabla 11. Tipos de análisis espacial

Tipo	Descripción
Consulta espacial	Tipo de análisis más simple basado en la consulta directa de la información de los datos espaciales, proporcionándonos información inmediata a partir de una simple observación de datos.
Análisis topológico	Las consultas hechas a las capas de información pueden tener relación no sólo con su posición, si no con la relación con otros elementos de la misma capa. La existencia de topología implica la disponibilidad de consultas.
Medición	La existencia de una referencia espacial para cada uno de los elementos hace posible la cuantificación de parámetros como distancia o propiedades tales como perímetro, área, longitud de un recorrido, factores de forma, pendiente.

Tipo	Descripción
Combinación	<p>En un SIG, las metodologías para integrar la información de varias capas en formas muy distintas, y las nuevas capas resultantes pueden analizarse con sencillez independientemente de su origen, como una capa más.</p> <p>La estructura de las bases de datos geográficas es idónea para integrar toda la información disponible acerca de una superficie geográfica concreta, y las distintas capas que forman esta se pueden combinar de forma sencilla tanto para su análisis como para su simple visualización.</p>
Transformaciones	<p>Se puede englobar dentro de este grupo una serie de procedimientos que modifican los elementos de entrada de diversas formas como la creación de áreas de influencia, simplificación de líneas, conversión entre sistemas de coordenadas, reproyecciones, reclasificaciones, normalizaciones por citar las más importantes.</p>
Análisis de superficies	<p>Este análisis se entiende como el de la superficie terrestre (es decir, el relieve), gran parte de estas operaciones pueden aplicarse a cualquier otra superficie, entendida en su sentido matemático. Así, la pendiente indica una tasa de variación y puede aplicarse a capas con valores distintos de elevación, temperaturas, densidades, etc.</p>
Estadística descriptiva	<p>Nos permiten calificar cuantitativamente los datos con los que trabajamos. Se incluyen aquí descriptores de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o el estudio de patrones espaciales. Estos pueden a su vez usarse para el contraste de hipótesis que contengan una cierta componente espacial.</p>
Inferencia	<p>Permite inferir comportamientos de las distintas variables a estudiar y la forma en que estas van a evolucionar a lo largo del tiempo. El establecimiento de modelos de cambio y variación representa una de las herramientas más actuales en el campo de los SIG.</p>

Tipo	Descripción
Toma de decisiones y optimización	Dentro de estos análisis, muchos de ellos tratan de maximizar o minimizar alguna función objetivo dependiente de los factores implicados, que pueden ser tanto variables recogidas en distintas capas como parámetros espaciales tales como distancias.
Modelación	Es un campo en crecimiento, la estructura raster de los datos que se emplean facilitan el análisis, encontrando en los SIG una plataforma idónea para su implementación basados en autómatas celulares.

Fuente: elaboración propia con base en Olaya, 2014.

1.5 MODELOS

Los modelos se consideran una herramienta del análisis espacial (Morales, 1970), en un concepto más amplio se describen como la presentación simplificada de un fenómeno que permite la fácil observación y el mejor control de sus elementos fundamentales y de las interacciones que hay entre ellos; para Olaya (2014), los modelos geográficos ofrecen una concepción particular del espacio geográfico y de sus atributos.

La construcción de modelos espaciales permite comprender los rasgos fundamentales de una realidad simplificada, actuando como guía en la planeación territorial brindando un mayor nivel de objetividad (Buzai y Baxendale, 2015).

1.5.1 Modelos de potencial productivo

SAGARPA e INIFAP en 2012, definen al potencial productivo como una delimitación espacial de las áreas o zonas donde es factible realizar con mayor probabilidad de éxito la producción de diferentes especies agrícolas pecuarias o forestales; establecen una serie de consideraciones para generar mapas con

dicho potencial, que puede ser expresado en tres niveles estudio, relacionados al uso o destino de la información y a la escala de aplicabilidad (Tabla 12).

Tabla 12. Niveles de desagregación de potencial productivo

Nivel de estudio	Uso	Ámbito espacial
Gran visión	Planeación	País, estado
Semidetallado	Planeación-operación	Región, distrito, cuenca
Detallado	Operación	Municipio, microcuenca, ejido, localidad

Fuente: SAGARPA-INIFAP, 2012.

1.5.2 Consideraciones para mapas de potencial productivo

1. Determinación de requerimientos agroecológicos del cultivo. Se debe realizar una consulta de factores que intervengan en el desarrollo de los cultivos.

2. Elaborar mapas fuente (interpolación). Para generar mapas a partir de fuentes puntuales como estaciones climáticas, en coberturas como precipitación y temperatura, es necesario realizar procesos de interpolación de datos.

3. Calificación de zonas potenciales en mapas raster. La reclasificación de las capas raster se considera a partir de los requerimientos de los cultivos para obtener zonas delimitadas con diferentes niveles de potencialidad.

4. Procesamiento de cartografía vectorial. Consiste en la ejecución de herramientas de procesamiento geográfico para realizar intersecciones entre pares de mapas, con el fin de discriminar áreas geográficas que no tengan condiciones favorables para el desarrollo de un cultivo.

5. Generación de mapas finales. En el mapa final se pueden estimar las superficies para cada nivel de potencial, considerando la intersección con una

capa vectorial para delimitar el territorio con una poligonal sobre un espacio geográfico de interés.

1.6 CONCEPTOS

1.6.1 Erosión

Los suelos representan una fracción de los materiales de la tierra y son necesarios para el crecimiento de plantas con raíces, y son el fundamento de apoyo para la vida humana.

A pesar de la importancia básica para el abastecimiento de alimento, fibra y otros materiales los suelos son algunos de los recursos más maltratados. La pérdida de cubierta vegetal que acelera el proceso erosivo representa un problema mayor, conforme las actividades humanas crecen y modifican la superficie terrestre (Tarbuck y Lutgens, 2009).

La erosión y la pérdida de cubierta vegetal son algunas de las consecuencias de una agricultura basada en agroquímicos y en el uso intensivo de los terrenos de cultivo; procedimientos generados a partir de la industrialización de la agricultura.

1.6.2 Procesos erosivos

Porta *et al.* (1994), denominan proceso erosivo a la pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ser arrastradas las partículas, a medida que van quedando en la superficie de acuerdo a la formación del suelo donde ocurran, son procesos progresivos con lo que la protección del suelo disminuye junto con los rendimientos, FAO (2017), describe a la erosión como el efecto más evidente de la degradación pero no cubre todos sus aspectos, es un proceso natural en zonas montañosas que puede acelerarse a partir de malas prácticas de manejo.

FAO (2008), plantea que las tierras marginales o degradadas, que se caracterizan por la baja disponibilidad de nutrientes y limitada fertilidad, muchas veces

causadas por la degradación vegetal, la erosión, la salinización o el compactamiento.

1.6.3 Factores de erosión

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010) y al Colegio de Posgraduados (COLPOS) los factores que afectan la erosión y la sedimentación están en función del tipo de erosión, sin embargo las variables generales son:

- **Clima.** La variable climática más importante es la lluvia, debido a su influencia en procesos de erosión hídrica, determinan la erodabilidad del evento la intensidad de la tormenta (mm/hr) y la cantidad de agua caída (mm) (UNESCO, 2010).
- **Vegetación.** Actúa como cubierta protectora entre el suelo y la atmósfera, mediante la intercepción de la lluvia y la reducción de la velocidad del escurrimiento y del viento. Los distintos tipos de cobertura permiten grados distintos de protección (COLPOS, 1991).
- **Hojarasca.** En ambientes boscosos o similares, que no han sido, significativamente, alterados por el hombre, las capas superficiales de suelo se encuentran cubiertas por una hojarasca integrada por hojas y ramas de la masa arbórea. Al igual que la cobertura vegetal, la hojarasca también protege el suelo contra la erosión de impacto, impidiendo que la gota de lluvia golpee directamente la superficie, disminuyendo la velocidad del flujo superficial (UNESCO, 2010).
- **Tipo de suelo.** No todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erosividad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica,

estructura y permeabilidad. Aquellos factores que promuevan la infiltración del agua en el suelo y reduzcan el escurrimiento disminuirán la erosionabilidad, mientras que cualquier actividad que pulverice el suelo la aumentara (COLPOS, 1991).

- **Topografía.** Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada.
- **Velocidad de flujo.** La velocidad del caudal influye fuertemente en la erosión hídrica. Se sabe que la velocidad mínima para desprender y transportar una partícula de suelo está en función del diámetro de ésta.
- **Uso de la tierra.** Los sitios en construcción representan la actividad humana más devastadora, en términos erosivos, debido a la agresividad espacial y temporal asociada a éstos, la tala rasa, raleos y construcción de caminos, entre otras, representan una enorme alteración en el ciclo hidrológico, lo que se traduce en una disminución de la intercepción de copa y la capacidad de infiltración de los suelos, debido al uso de maquinaria pesada. Dichos disturbios generan gran cantidad de erosión y sedimentación.

1.7 USO DEL SUELO

COLPOS (1982), refiere al uso de suelo como la utilización de la superficie para realizar diversas actividades, mientras que SEMARNAT (2012), considera el uso como la forma de emplear el terreno y la cubierta vegetal. El referente para la descripción de la vegetación y el uso de suelo es la cartografía elaborada por el INEGI, base para elaborar clasificaciones de los diferentes tipos de vegetación de acuerdo al criterio a utilizar, considerando características tales como composición florística, fisonomía y/o utilidad forestal (Tabla 13).

Tabla 13. Clasificación de usos de suelo y vegetación

COLPOS	INEGI
<p>Agrícola. Superficie donde se desarrolla agricultura de riego y/o temporal.</p> <p>Pecuario. Terrenos con pastizales de tipo natural o inducido.</p> <p>Forestal. Terrenos con vegetación de tipo forestal (pino, encino, oyamel, tipos de selva).</p> <p>Asociaciones especiales de vegetación. Abarcan sitios con matorrales, sabanas, mezquitales o palmeras.</p> <p>Desprovistos de vegetación. Áreas donde no se presenta vegetación.</p>	<p>Bosque mesófilo de montaña</p> <p>Bosque templado</p> <p>Selva húmeda</p> <p>Selva Subhúmeda</p> <p>Manglar</p> <p>Matorral xerófilo</p> <p>Otra vegetación hidrófila</p> <p>Pastizal natural</p> <p>Vegetación halófila y gipsófila</p> <p>Otros tipos de vegetación</p> <p>Pastizal inducido o cultivado</p> <p>Plantación forestal</p> <p>Zonas urbanas o desprovistas de vegetación</p>

Fuente: COLPOS, 1982 y SEMARNAT, 2012.

1.8 EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

Las técnicas de evaluación multicriterio actual, requieren necesariamente del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para integrar, estandarizar, procesar y expresar la información de manera gráfica o alfanumérica con el fin de obtener

una veracidad tecnológica, acelerando los procesos y ofreciendo mayor grado de objetividad.

Gómez y Barredo (2005), definen a la Evaluación Multicriterio (EMC) como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. En la EMC de acuerdo al grado de atracción, es posible generar soluciones compromiso y alternativas de acuerdo a su grado de atracción.

Los objetivos son las funciones a desarrollar y determinan los lugares más adecuados para la localización de un determinado componente puede ser de tipo biológico o estructural; dichos objetivos tiene que ser planteados sobre una serie de alternativas. A cada alternativa la caracterizan diferentes criterios o factores que intervienen en la evaluación.

Tipos de criterios factores y limitantes: el factor es un criterio que realza la capacidad de asentamiento de una alternativa, por lo cual es medido de forma continua; el criterio limitante, restringe la posibilidad en algunas alternativas de función, hacia la actividad evaluada.

Fases del método:

- a) Estructuración. Factores y limitantes a partir de los objetivos planteados
- b) Estandarización de criterios. Uniformidad de los valores de cada factor para que puedan ser comparados entre si dentro del análisis
- c) Ponderación. Peso o importancia del factor
- d) Obtención de alternativas. Delimitación de áreas con las condiciones adecuadas
- e) Análisis de sensibilidad. Grado de confianza de los resultados

(Sharifi, Van Herwijnen y Van Der Toon, 2004, en Campos, Monroy y Pineda, 2013)

CAPÍTULO II. MARCO NORMATIVO, BIOENERGÉTICOS E HIGUERILLA

2.1 MARCO NORMATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

El Protocolo de Kioto (1998) firmado por México el 9 de junio y ratificado el 29 de abril de 2000, es el preámbulo en la temática de energías renovables, donde se adquieren como compromisos primordiales la disminución de gases contaminantes y la generación de fuentes energéticas renovables.

México comienza a integrar en el marco normativo la temática de las energías alternativas en el sexenio 2007-2012 dentro del eje 2, donde fue prevista la diversificación de materias primas para el aprovechamiento sustentable en energías renovables auxiliándose de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) y esta a su vez de una estrategia y dos programas que buscaban fortalecer la cadena productiva de los bioenergéticos desde una perspectiva sustentable.

Para el sexenio 2013-2018 en la meta México próspero se aborda el tópico de bioenergéticos; sigue vigente la LPBD fortalecida con programas y estrategias para su desarrollo; entran en funcionamiento la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, surge la Reforma Energética y la Ley de Transición Energética.

En el año 2014 y con actualización al 2017, se establece el Marco Regulatorio Básico para las Energías Renovables elaborado por la Comisión para el Uso Eficiente de la Energía, donde se pretende establecer una política a largo plazo para fomentar, diversificar y estimular el uso de energías renovables; el marco está integrado por 16 leyes y 8 reglamentos, las leyes más representativas en materia de bioenergía se encuentran en los instrumentos normativos por sexenio (Tabla 14 y 15).

**Tabla 14. Instrumentos Normativos en Materia de Energías Renovables
Sexenio 2007-2012.**

Plan de Desarrollo Nacional 2007-2012	
En el eje 2, prevé como estrategias la diversificación de las fuentes primarias de energía y el fomento del aprovechamiento sustentable de energías renovables.	
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)	
Prevé como estrategias la diversificación de las fuentes primarias de energía y el fomento del aprovechamiento sustentable de energías renovables, como acciones fundamentales para asegurar un suministro confiable, de calidad y a precios competitivos de los insumos energéticos que demandan los consumidores.	
Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos	Coordinar las acciones a partir de las cuales se desarrollan los bioenergéticos, a través de diversas políticas y proyectos para el desarrollo ordenado y sustentable de la industria.
Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico	Fomentar la producción sustentable de insumos para bioenergéticos y su comercialización, dando certidumbre, aumentando la competitividad y la rentabilidad del campo mexicano por medio del desarrollo científico y tecnológico.
Programa de Introducción de Bioenergéticos	Brindar certidumbre en el desarrollo de la cadena de producción y consumo de bioenergéticos, como una alternativa para su incorporación en la mezcla de combustibles para el transporte.

Fuente: Elaboración propia con base en ENERGÍAS RENOVABLES, 2014.

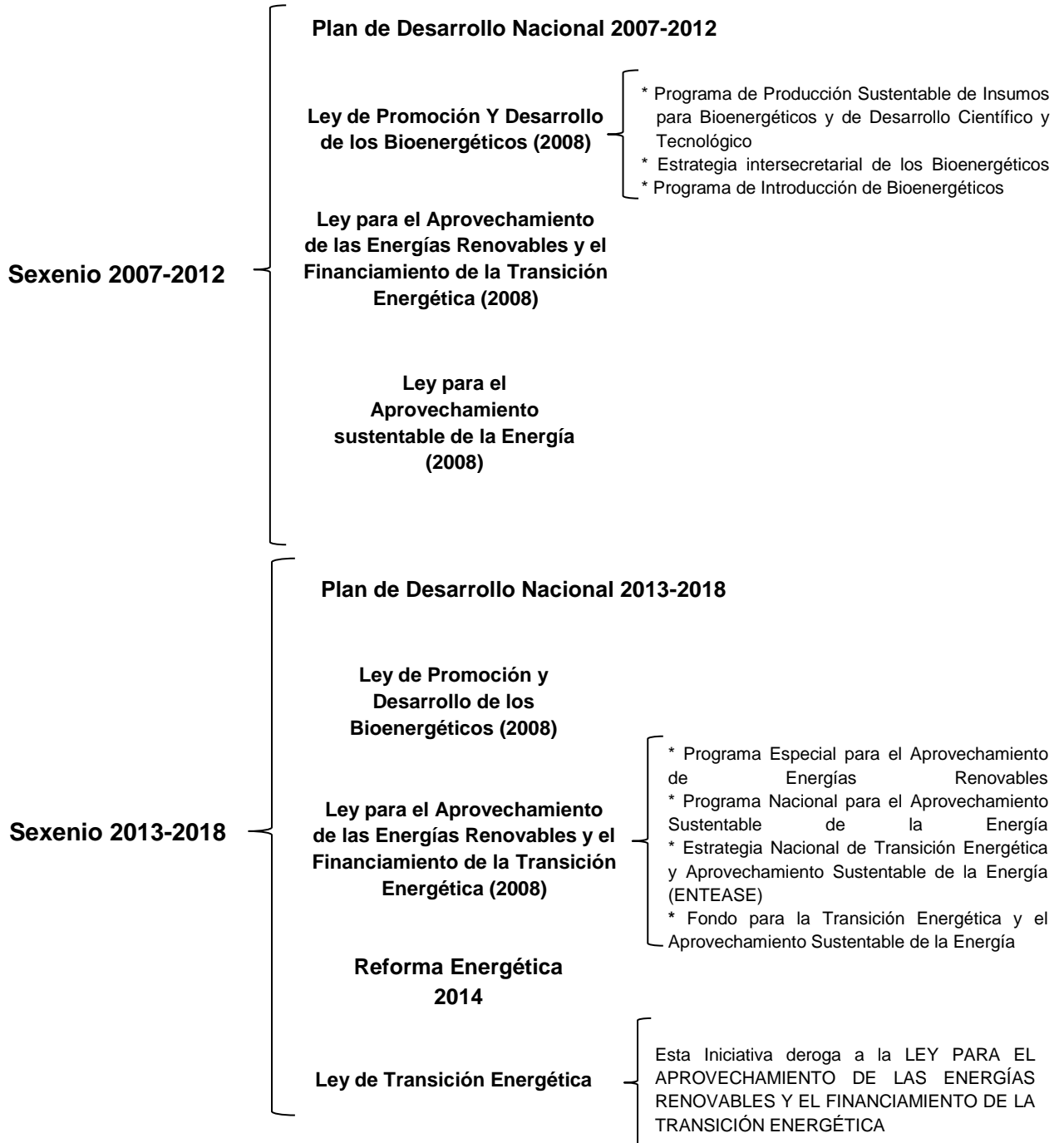
**Tabla 15. Instrumentos Normativos en Materia de Energías Renovables
Sexenio 2013-2018.**

Plan de Desarrollo Nacional 2013-2018. Se destaca la meta denominada “México Próspero” en la que se indican aspectos vinculados con las energías renovables.	
Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (2008) Regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.	
Plan Integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018	Se planea una aportación a la integración definitiva de las energías renovables dentro de la matriz energética mexicana y, en concreto, dentro del sistema eléctrico nacional (SEN).
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables.	Expandir la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, acelerar la inversión en tecnologías limpias, aprovechar los bioenergéticos, desarrollar más empleo, empresas, mayor tecnología en México y democratizar el aprovechamiento de las energías renovables.
Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE)	Persigue ampliar la utilización de fuentes de energía limpias y renovables, promoviendo la eficiencia energética y la responsabilidad social y ambiental. En materia de bioenergéticos, plantea iniciativas para el desarrollo de las energías renovables como la biomasa.
Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE)	Diversificar las fuentes de energía, dando prioridad al incremento en la participación de las tecnologías no fósiles; de manera concreta apoyando y validando programas para la producción de insumos, y proyectos de plantas piloto de producción de bioenergéticos.
Reforma Energética. Sólo uno de sus artículos hace referencia directa a las energías renovables, se trata del décimo cuarto, el cual considera la aportación de recursos para financiar proyectos de inversión en ciencia, tecnología e innovación en energías renovables, siempre y cuando existan ciertas condiciones de ahorro favorables.	
Ley de Transición Energética Tiene como objetivo central regular el aprovechamiento sustentable de energía, y las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica.	

Fuente: Elaboración propia con base en ENERGÍAS RENOVABLES, 2014.

Figura 8. Resumen del Marco Normativo de Energías Renovables en México

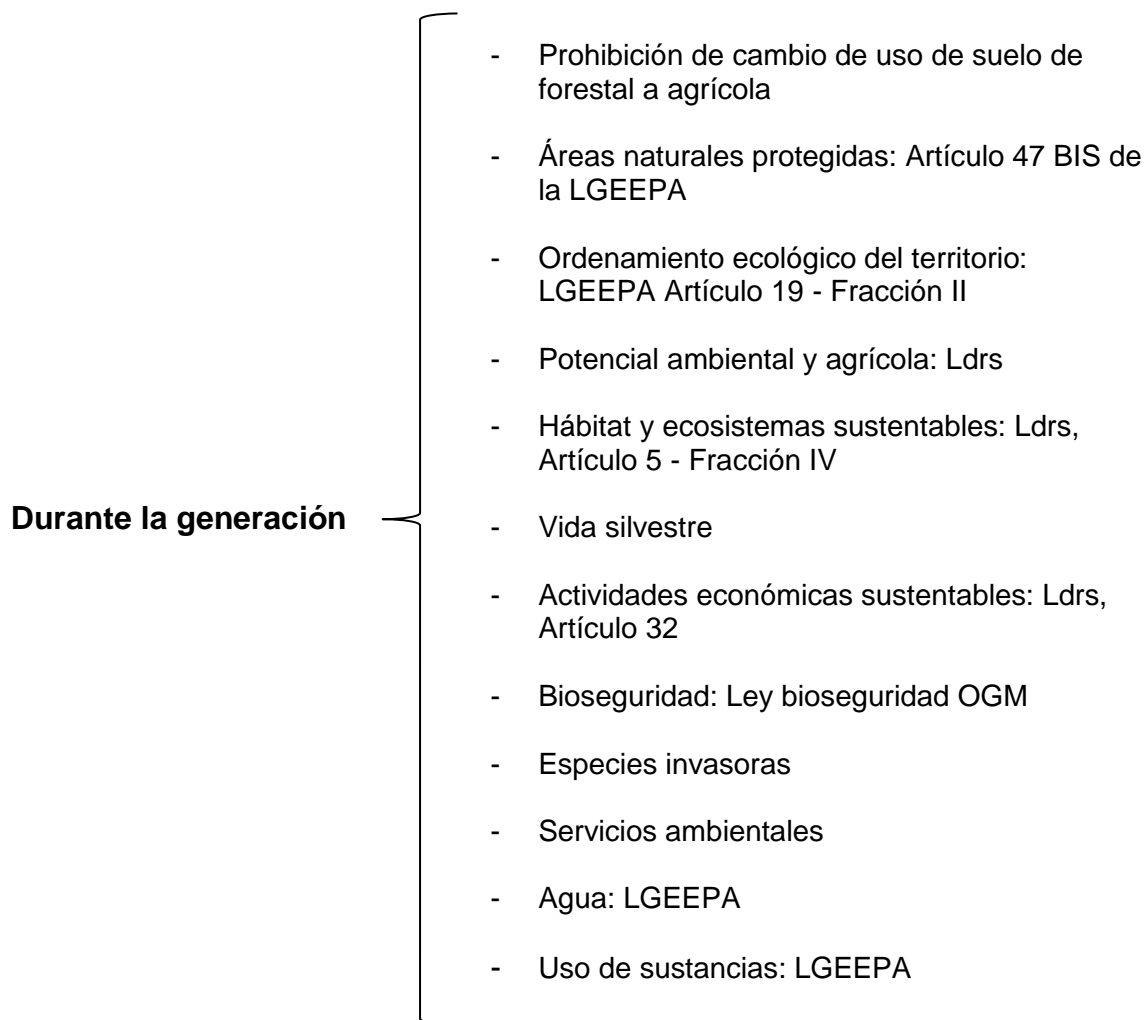
Protocolo de Kioto firmado en 1998 y ratificado en 2000



Fuente: Elaboración propia con base en ENERGÍAS RENOVABLES, 2014.

El Instituto Nacional de Ecología (INE, 2009), ha propuesto una serie de criterios normativos con los que se pretende garantizar la sustentabilidad durante la generación de insumos con fines bioenergéticos; con criterios ya establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) y la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (Ldrs) en el marco legal vigente.

Figura 9. Criterios de sustentabilidad durante la generación de insumos



Fuente: INE-SEMARNAT, 2009.

2.2 BIOENERGÉTICOS

El término de bioenergía es designado para todos los tipos de energía que provienen de biocombustibles, es decir que tienen un fin energético, como el aprovechamiento natural de los bosques, plantaciones polivalentes y sus subproductos (residuos y desechos), de la producción y de la elaboración de materias derivadas (FAO, 2011).

En México es publicada la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos el 1° de febrero de 2008, donde se conceptualiza a los Bioenergéticos como combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos y enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de esta Ley.

Dentro de las diversas clasificaciones especializadas de los bioenergéticos se encuentran los Agrocombustibles, que se definen como combustibles derivados de la biomasa agrícola y como subproductos de las explotaciones agrícolas, que comprenden materias de biomasa derivadas directamente de cultivos destinados a la producción de combustible y de subproductos agrícolas, agroindustriales y animales (FAO, 2011).

2.3 BIOCMBUSTIBLES

Los biocombustibles son obtenidos de diversos productos y subproductos de biomasa, mediante procesos químicos, físicos y mecánicos. El Bioetanol químico se obtiene de la fermentación de azúcares presentes en los granos y vegetales, es un recurso renovable, biodegradable y una fuente de energía que reduce los

niveles de CO² y mejora la calidad del aire; es producido a partir de cultivos tales como caña de azúcar, maíz, cebada, trigo, centeno, sorgo y papa.

El Biodiesel es un producto resultante de la reacción química de los ácidos grasos principalmente los aceites vegetales y alcoholes como metanol o etanol; que se sustituye como combustible limpio y renovable de los derivados del petróleo, específicamente al diesel, con ventajas ecológicas, pues minimiza la emisión de gases de efecto invernadero. El biodiesel se puede producir a partir de aceites vegetales contenidos en cultivos de canola, cártamo, girasol, higuera, linaza, palma de aceite, piñón mexicano y soya (Montiel, 2010).

De acuerdo con SAGARPA (2013), los biocombustibles presentan una serie de ventajas y desventajas que involucran aspectos socioeconómicos y medioambientales (Tabla 16).

Tabla 16. Ventajas y desventajas de los biocombustibles

Ventajas	Desventajas
<p>a) Mantienen estables los niveles de CO² en la atmósfera, con lo que se reduce el efecto invernadero.</p> <p>b) Proporciona una fuente de energía renovable.</p> <p>c) Pueden servir como incentivos para revitalizan las economías rurales y generar empleo al favorecer el desarrollo de una nueva industria dentro del sector rural.</p> <p>d) Coadyuvar a reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en los últimos tiempos.</p>	<p>a) En la actualidad el costo de la producción de los biocombustibles, es muy elevada al comparar con los precios actuales de la gasolina y diesel. Por ello, actualmente son poco competitivos.</p> <p>b) Se necesitan grandes espacios de cultivo, debido a que la productividad de la biomasa es poca, comparada con la demanda actual.</p> <p>c) Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente incremento en el uso de agroquímicos.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en (SAGARPA, 2013).

2.4 ESTADO DEL ARTE DE LA HIGUERILLA COMO BIOENERGÉTICO

En el contexto nacional las acciones más relevantes sobre investigación, impulso, y generación de materia prima para biocombustible con higuera son:

- Recalde y Duran (2009) mencionan que la higuera posee características que pueden ser compatibles con proyectos de desarrollo sustentable cuyo objetivo sea la producción de biocombustibles alternativos y la conservación de la calidad ambiental.
- En el año 2011 son realizadas las primeras siembras comerciales de higuera en el estado de Oaxaca; SAGARPA e INIFAP publican la guía para cultivar higuera en Jalisco y Michoacán.
- Del año 2007 al 2012 en el Plan Nacional de Desarrollo se establecen como prioritarios, los proyectos de investigación con cultivos bioenergéticos destacando en ellos a la higuera (Programa de Producción Sustentable de Insumos); en 2012 se expide la guía gráfica de descriptores varietales de higuera por SAGARPA e INIFAP.
- Es en 2013 cuando se calculan los potenciales productivos para los cultivos prioritarios; para higuera se calcularon 3'959,682 hectáreas con potencial productivo alto (SAGARPA, 2013); en este mismo año SAGARPA e INIFAP publican la guía para cultivar higuera en Oaxaca.
- El 2013, se desarrollaron investigaciones sobre la competitividad de la higuera mediante el sistema de intercalación con maíz y frijol con resultados favorables para su aptitud y rentabilidad, concluyendo que son necesarias aplicaciones tecnológicas para un mayor impacto (Rodríguez y Zamarripa, 2013).

- En el año 2014 se realizó en México el primer congreso internacional de higuierilla auspiciado por SAGARPA, con el objetivo de impulsar la producción y extracción de biodiesel así como establecer las bases para una red nacional e internacional de higuierilla (congreso higuierilla).
- En 2014 es generada e introducida la variedad RC-40 de higuierilla para Puebla, Oaxaca y Guerrero.
- Para el año 2014 México ocupa la posición número 27 a nivel mundial en producción de higuierilla; para 2014 SAGARPA e INIFAP publican la guía para cultivar higuierilla para Hidalgo.
- Para 2015 en el Valle del Carrizo al norte de Sinaloa, la empresa Biofiled en coordinación con SAGARPA, inician en el proyecto para el establecimiento de higuierilla, para producción de biodiesel, estimando una siembra de mil 200 hectáreas (SAGARPA, 2015).
- FAOSTAT (2015), cálculo para México una producción anual de 444.25 toneladas de ricino (higuierilla).

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.)

La higuera (*Ricinus communis* L.), es una planta oleaginosa perenne (Tabla 17), de origen Africano (Goytia, 2013), que de acuerdo con Machado y Alfonso (2012), cobra relevancia en el reino vegetal por los más de 700 productos industriales que pueden elaborarse a partir de las semillas, insumo del que se extrae aceite de excelente calidad para generar biodiesel, siendo una especie promisoras por su alta diversidad genética, adaptable a diversas condiciones agroecológicas que permiten buen potencial para cultivo en México (Rodríguez y Zamarripa, 2013).

De acuerdo con Rzedowski y Calderón (1990) *Ricinus communis* L. en México tuvo una introducción probable antes de 1900, con una distribución amplia como planta silvestre y una naturalización consumada, CONABIO (2016) la categoriza como una planta exótica sin estatus de invasora, sin embargo de acuerdo a la base de datos Global Invasive Species Database (GISD, 2017) y al Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2017), se encuentra considerada como altamente invasora con presencia en al menos 82 lugares de los cinco continentes, siendo una de las especies con mayor distribución invasiva potencial.

Con las condiciones ambientales adecuadas puede reproducirse en cualquier época del año (CABI, 2012), no germina de manera inmediata al ser dispersada, emerge con condiciones específicas de luz y temperatura, pudiendo colonizar sitios disturbados con rápido crecimiento.

Los seres humanos y caballos son vulnerables a la semillas cuando se mastican al ser ingeridas, causando irritación del estómago, diarrea, dolor abdominal, aumento de la frecuencia cardíaca, sudoración profusa, colapso y convulsiones (GISD, 2017), debido alto contenido en ácido ricinoléico, factor de resistencia a plagas; dichas características han garantizado la efectividad invasiva de la especie (Martins *et al.*, 2009).

Tabla 17. Clasificación Taxonómica *Ricinus communis* L.

Jerarquía taxonómica
Reino: Plantae
División: Tracheophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Malpighiales
Familia: Euphorbiaceae
Género: <i>Ricinus</i> L.
Especie: <i>Ricinus communis</i> L.

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2017).

De acuerdo con Armendáriz (2012), la distribución bioclimática de la higuera es en zonas cálidas, con ciclos de vida anual o perenne (en regiones tropicales y subtropicales), considerando 15°C como temperatura base de germinación y 20°C a 35°C para producciones de alto valor comercial (Falasca *et al.*, 2012), requiere luz directa y puede intercalarse con algunos cultivos de corte bajo y ciclo corto (Armendáriz, 2012), debido a que plantas arbóreas con mayor altura le impiden el aprovechamiento eficiente de la luz del sol en su metabolismo (Noda *et al.*, 2015).

Córdoba (2012), comprobó el comportamiento fisiológico de la higuera en diferentes condiciones asociadas a la altitud, determinando que puede ser cultivada en ambientes fríos sin afectar su actividad productiva y fisiológica, debido a que anteriormente era recomendada para altitudes inferiores a los 1,500 msnm; de manera silvestre hay presencia a los 2600 msnm de altitud (Armendáriz, 2012).

En cuanto a las necesidades hídricas necesita al menos 700 mm de precipitación para rendimiento aceptable, pero en altas precipitaciones desarrolla problemas sanitarios (Falasca *et al.*, 2012), por lo que prospera bien en suelos de mediana fertilidad profundos, sueltos, permeables, aireados, bien drenados con cantidades adecuadas de elementos nutritivos (Machado y Alfonso, 2012).

2.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.)

Calderón y Rzedowski (2005), describen a la higuierilla de forma general como una planta herbácea alta, a veces algo arbustiva, de color verde claro a azul-grisáceo, en ocasiones rojiza, con un tamaño de hasta de 6m de alto y un tallo engrosado y ramificado.

- **Hojas.** Presentan una forma de lámina casi orbicular, de 10 a 60 cm de diámetro, profundamente palmatilobada, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas, agudas o acuminadas, con un borde irregularmente dentado-glanduloso; los colores van de verde claro a rojo (INIFAP-SAGARPA, 2012).
- **Tallo.** Lampiño, ramificado y rojizo puede tener colores y formas diferentes, está o no cubierto de cera, el tallo de la planta es frágil y sujeto a quebraduras.
- **Inflorescencia.** Tiene la presencia de flores masculinas con un perianto de 6 a 12mm de largo, el de las flores femeninas de 4 a 8mm de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos.
- **Fruto.** Es una cápsula subglobosa, de 1.5 a 2.5cm de largo, con espinas cortas y gruesas (equinado).
- **Semillas.** Tiene una forma elipsoide, algo aplanadas, de 10 a 17mm de largo, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, conspicuamente carunculadas.
- **Raíz.** Pivotante que puede alcanzar tres metros de profundidad, es el amarre principal de la planta.

2.7 REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS PARA POTENCIAL PRODUCTIVO DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.)

El INIFAP, ha presentado a partir del año 2011 una serie de guías cuyo objetivo es orientar el proceso productivo de la higuierilla en los estados de Jalisco (2011), Michoacán (2011), Oaxaca (2013) e Hidalgo (2014). Dentro del contenido de estas guías destacan los requerimientos agroecológicos para tres niveles de potencial productivo (alto, medio y bajo), considerando las siguientes variables edafoclimáticas en los requerimientos de potencialidad: altitud (msnm), precipitación (mm), temperatura (°C), textura de suelo y tipo de suelo (Tabla 18).

Tabla 18. Asignación de potencial productivo por variable

Variable	Potencial productivo para México		
	Alto (4-5 t/ha.)	Medio (2-3 t/ha.)	Bajo (<2 t/ha.)
Temperatura media anual	15-30° C	30-35°C	< 15°C > 35° C
Precipitación anual	400-1000 mm	1000-1500 mm	< 400 mm >1500 mm
Altitud	0-1,800 msnm	1,800-2,500 msnm	>2,500 msnm
Edafología	Regosoles	Cambisol Feozem	Vertisol, Litosol y Rendzinas
Textura de suelo	Media	Gruesa	Fina

Fuente: INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

SAGARPA en el 2013 recomienda unas consideraciones técnicas para la producción de higuierilla iniciando con la preparación del terreno, el manejo en época de siembra, el control de malezas, plagas y enfermedades, tratamientos en cosecha, poscosecha y mantenimiento (Tabla 19).

Tabla 19. Consideraciones técnico metodológicas para la producción de *Ricinus communis* L

Fases	Características
Preparación del terreno	<p>La preparación del suelo para una buena cama de siembra que facilita la germinación y el establecimiento del cultivo, con el sistema de labranza tradicional que a continuación se detalla.</p> <p>Barbecho. En suelos profundos se debe realizar un barbecho a una profundidad de 30 cm, y en suelos delgados es recomendable aplicar el subsuelo para obtener mejores resultados en la captación de agua.</p> <p>Rastra. Se recomienda dar dos pasos de rastra para tener una cama de siembra en mejores condiciones para tener mayor seguridad en la emergencia.</p> <p>Nivelación. Es necesaria para evitar posibles encharcamientos o partes secas, con una buena pendiente una buena conducción o desalojo de excesos de agua.</p> <p>Surcado. El surcado puede ser a 75 cm de ancho o en camas de 1.5 m de ancho con el fin de tener una mejor orientación en la siembra, en captación de agua y para eliminar el exceso de agua.</p>
Época de siembra	Ciclo primavera-verano, bajo condiciones de temporal desde el inicio del temporal en el mes de junio a julio (probabilidad del 90% de iniciar el periodo de inicio del temporal)
Método y densidad de la siembra	Arreglos topológicos. De 1.5 m x 1.5 m con una densidad de población de alrededor de 4,450 plantas por hectárea ó 1.0 m x 1.0 m, población de 10,000 plantas por hectárea.
Control de malezas	Los controles pueden ser manuales, mecánicos y químicos
Control de plagas y enfermedades	<p>En el cultivo se pueden presentar las siguientes Plagas: Diabrotica (<i>Diabrotica</i> spp.) en las primeras etapas del cultivo y la Chinche de encaje (<i>Leptodyctia</i> spp.) se puede presentar en la etapa de fructificación.</p> <p>Enfermedades: en zonas donde prevalece una alta humedad Relativa o suelos de drenaje deficiente, pesados o mal nivelados provocan excesos de humedad y presencia de patógenos pueden provocar que la raíz sea susceptible a pudriciones causadas por los hongos <i>Fusarium ricini</i>, <i>F. oxysporium</i>, <i>Phymatotrichium omnivorum</i>, <i>Alternaria ricini</i>, <i>Sclerotinia ricini</i>, <i>Xanthomonas ricinicola</i> y <i>Cercospora ricinielala</i>.</p>
Cosecha	Puede ser manual o mecanizado recortando las inflorescencias, cada 8 días cuando están secas, la madurez de la cosecha se observa cuando en las inflorescencias el 80% de las capsulas es café.
Manejo poscosecha	Dentro de las fases del manejo poscosecha destacan: el secado, el desgranaje, la limpieza y el almacenamiento.
Mantenimiento	La higuierilla puede manejarse como cultivo perenne por cinco o más años dependiendo de la variedad.

Fuente: SAGARPA, 2013.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló a partir de los cuatro objetivos específicos planteados (Tabla 20, figura 10):

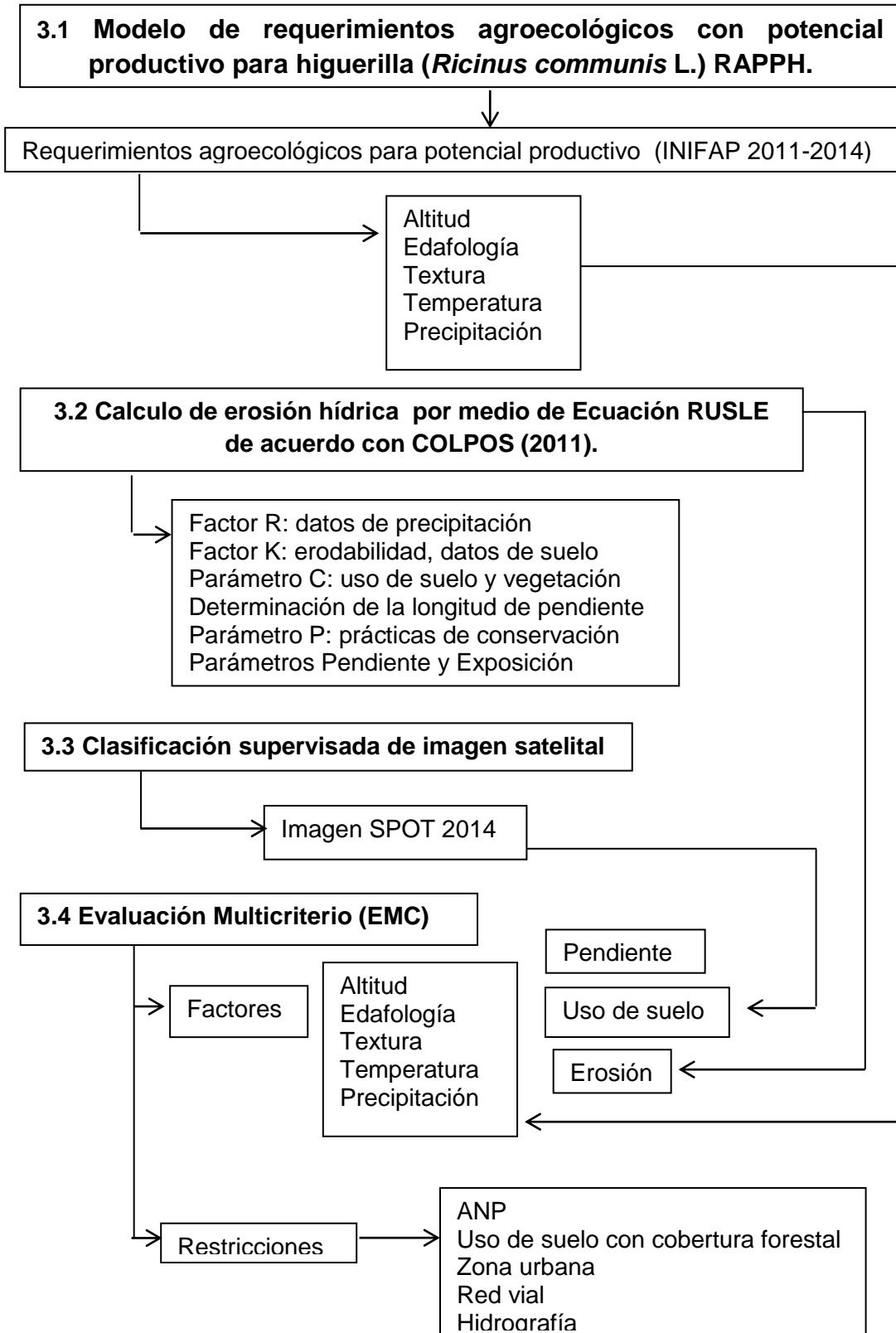
Tabla 20. Objetivo, Método y Técnicas

Objetivo	Método y técnicas	Resultado
Elaborar un modelo de requerimientos agroecológicos con potencial productivo para higuierilla (<i>Ricinus communis</i> L.) (RAPPH).	El modelo se basó en los requerimientos de potencial productivo de INIFAP (2011, 2012, 2013, 2014), generado a partir de algebra de mapas, a través de intersección de variables digitalizadas.	Primer modelo cartográfico en el que se identifica de manera general la potencialidad productiva en la zona, con base en cinco variables agroecológicas
Calcular el grado de erosión hídrica.	Estimación de erosión hídrica a través de la ecuación RUSLE basado en COLPOS (2011).	Variable usada en el modelo de potencial con EMC para orientar la introducción de la especie en zonas con presencia de erosión.
Generar una capa de uso de suelo y vegetación actualizada.	Mediante la técnica de clasificación supervisada utilizando una imagen satelital SPOT 2014.	Capa actualizada y reclasificada de uso de suelo y vegetación
Elabora un modelo de potencial productivo para higuierilla (<i>Ricinus communis</i> L.) mediante Evaluación Multicriterio (EMC).	Del modelo se generaron tres escenarios con EMC: 1.EMC-RAPPH, 2.EMC-Erosión y 3.EMC-RAPPH-Ejido, considerando factores, restricciones, jerarquía y ponderación en las variables.	Segundo modelo cartográfico para identificar potencial productivo con mayor grado de detalle

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Diagrama Metodológico

Métodos y procedimientos por objetivos



Fuente: elaboración propia

Previo al desarrollo de los métodos y proceso la información cartográfica base (Tabla 21), donde fue necesaria la elaboración de un marco circundante debido a que algunos de los procesos de análisis espacial como la interpolación requerían un área superior al límite de estudio. Se abarcó parte de seis municipios que limitan con la zona: San Miguel Zinacantepec, Amanalco de Becerra, Valle de Bravo, San Martín Oztoloapan, Zacazanopan, Tejupilco, Texcaltitlán y Coatepec Harinas.

3.1 MODELO DE REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS CON POTENCIAL PRODUCTIVO PARA HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.) (RAPPH).

Las variables con sus características asociadas y método para determinar el potencial productivo fueron retomadas de las guías para cultivar higuierilla emitidas por SAGARPA e INIFAP 2011-2014, donde se expresa el potencial productivo en toneladas por hectárea mediante tres rangos: alto 4 a 5, medio 2 a 3 y bajo menos de 2; usando datos de temperatura media anual, precipitación anual, altitud, edafología y textura de suelo.

El modelo RAPPH se realizó en dos fases: primero fue la generación de capas base (ya digitalizadas y georeferenciadas previamente) transformándolas de formato raster a vector (Tabla 21), asignando posteriormente los valores de potencialidad; en la segunda fase se construyó el mapa de potencial productivo mediante la intersección de las capas (Figura 11).

Tabla 21. Elementos y fuentes de información (RAPPH)

Elementos	Escala	Fuente
Altitud	Resolución 15m x 15m	Continuo de elevación Mexicano (CEM 3.0), INEGI, 2013
Edafología	1:50,000	Cartas analógicas E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57
Textura		
Temperatura		ERIC III, 19 estaciones con un lapso de 30 años (1980-2010)
Precipitación		

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Temperatura media anual y precipitación anual. La información partió de los datos de temperatura media anual y precipitación anual de 19 estaciones meteorológicas de la base de datos Eric III, con un lapso temporal de 30 años (1980-2010). Se ligó la información de cada estación a su ubicación geográfica para posteriormente realizar la interpolación de los datos a través de la herramienta Kriging, ubicada en Tool Set, Spatial Analyst Tools, Interpolation, en el software ArcGIS. Con la interpolación de datos de temperatura se originó la capa de isotermas y con los datos de precipitación la capa de isoyetas

Una vez construida la capa de isotermas en formato vector, se adhirió una columna con el valor asignado para generar la capa por potencialidad de temperatura (Tabla 22, figura 12)

Tabla 22. Asignación de valor para temperatura media anual

Temperatura media anual	Potencial	Valor asignado
15-30° C	Alto	1
30-35°C	Medio	2
< 15°C > 35° C	Bajo	3

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Para la capa de isoyetas se agregó una columna con el valor asignado para generar la capa por potencialidad para precipitación (Tabla 23, figura 12).

Tabla 23. Asignación de valor para precipitación anual

Precipitación anual	Potencial	Valor asignado
400-1000 mm	Alto	1
1000-1500 mm	Medio	2
< 400 mm >1500 mm	Bajo	3

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Altitud. Para la variable altitud se utilizó el Continuo de Elevación Mexicano (CEM 3.0), se reclasificó a través del módulo Spatial Analyst Tools, Reclass, Reclassify y posteriormente se transformó a formato vector con los valores asignados (Tabla 24, figura 12).

Tabla 24. Asignación de valor para Altitud

Altitud	Potencial	Valor asignado
0-1,800 msnm	Alto	1
1,800-2,500 msnm	Medio	2
>2,500 msnm	Bajo	3

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Edafología. Se digitalizaron 6 cartas edafológicas escala 1:50,000 (E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57) a formato vector siguiendo el mismo proceso de asignación de valor en columna (Tabla 25, figura 12).

Tabla 25. Asignación de valor para edafología

Edafología	Potencial	Valor asignado
Regosoles	Alto	1
Cambisol, Feozem, Andosol, Acrisol	Medio	2
Vertisol, Litosol, Luvisol Rendzinas	Bajo	3

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Textura de suelo. Con la capa digitalizada, transformada y reclasificada de edafología se asignó el valor para la potencialidad por textura (Tabla 26, figura 12).

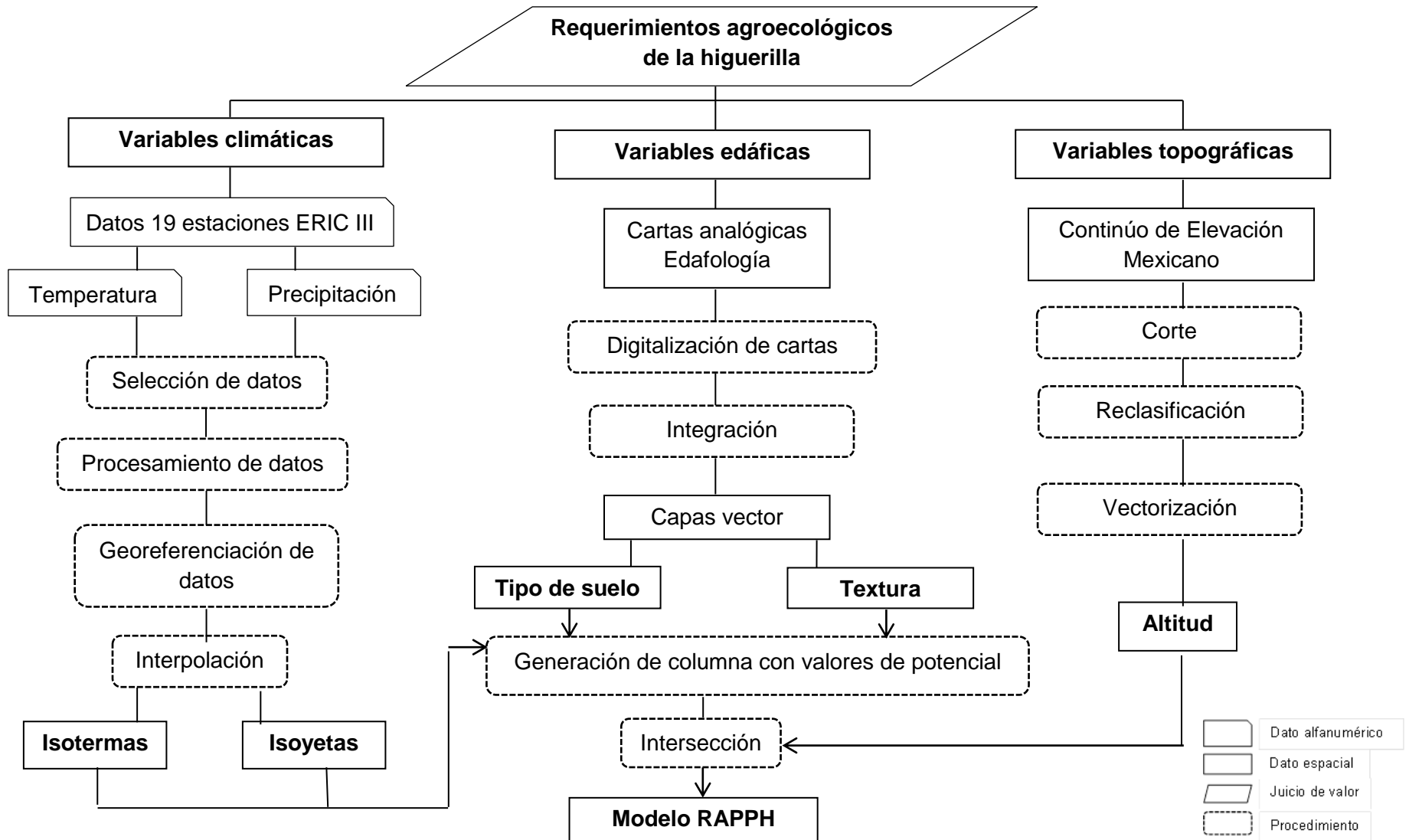
Tabla 26. Asignación de valor para textura de suelo

Textura	Potencial	Valor asignado
Media	Alto	1
Gruesa	Medio	2
Fina	Bajo	3

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

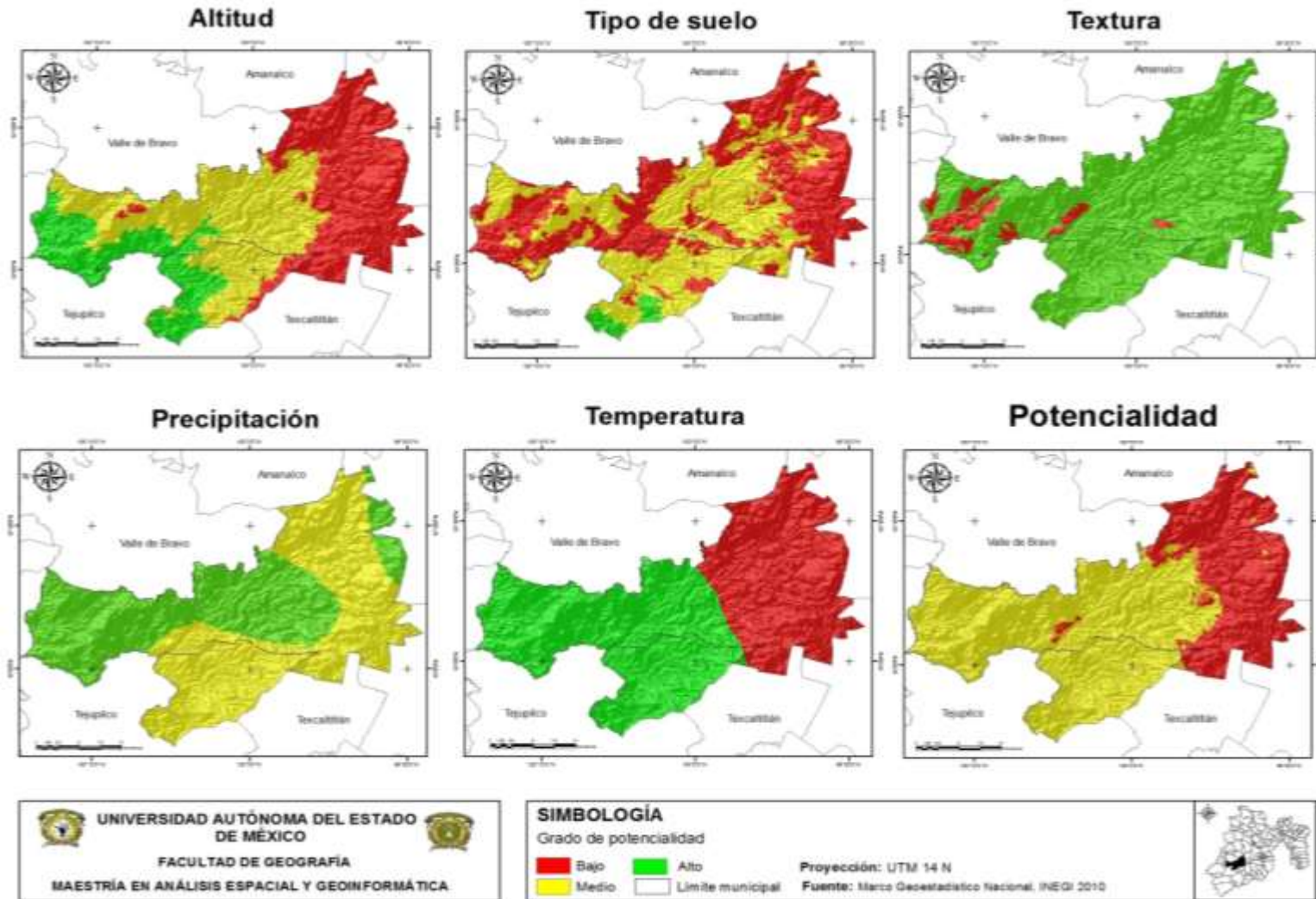
En el segundo paso, una vez constituidas las capas de información en formato vector y con la asignación de los valores de potencial productivo (figura 11), se realizó una intersección de las capas de acuerdo a lo citado con Díaz *et al.*, (2012) y Guajardo *et al.*, (2013), mediante el software ArcGIS, dentro del módulo Analysis Tools, Extract, Intersect; esta herramienta interseca las entidades o porción de entidades comunes a todas las entradas permitiendo la entrada de cualquier tipo de geometría (ArcGIS Pro, 2017).

Figura 11. Metodo para elaborar el modelo RAPPH



Fuente: elaboración propia

Figura 12. Asignación de valores por variable, para potencial productivo de higuera



3.2 Estimación de erosión hídrica mediante ecuación RUSLE

La erosión hídrica en la zona de estudio como una variable que fue usada en uno de los escenarios de EMC, se generó debido a la capacidad de la especie de adaptación a suelos degradados y a la posible regeneración de los mismos (Tabla 27).

Tabla 27. Elementos y fuentes de información (RUSLE)

Elementos	Escala	Fuente
Precipitación Temperatura		ERIC III, 19 estaciones con un lapso de 30 años (1980-2010)
Edafología	1:50,000	Cartas analógicas E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57
Uso de suelo y vegetación	1:50,000	Cartas analógicas E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57
Longitud de la pendiente y Exposición	Resolución 15m x 15m	Continuo de elevación Mexicano (CEM 3.0), INEGI, 2013

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Es un modelo de parámetros agrupados para calcular la erosión de tipo laminar y/o en surcos, donde se hace uso de información sobre suelos, cultivos, pendientes, manejo, precipitación pendiente y exposición.

Factor R. Se utilizó la capa base de isoyetas generada para el modelo de requerimientos agroecológicos, aplicando la fórmula del Factor R.

Aplicar la fórmula del factor R

$$R = 0.0483 Pa^{1.610} \quad Pa \leq 850 \text{ mm} \quad (2.4)$$

$$R = 587.8 + 1.249 Pa + 0.004105 Pa^2 \quad Pa > 850 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Dónde:

R= factor de erosividad (MJ mm/ ha hr año)

Pa= precipitación total anual (mm)

Factor K. Se elaboró mediante el uso del monograma propuesto por la FAO (1980), un valor por unidad de suelo y textura superficial, utilizando los grupos de textura: fina, media y gruesa (Tabla 28, figura 13).

Procedimiento:

- Ubicar unidad de suelo
- Identificar la clase de textura o texturas que presenta la unidad o grupo
- Asignar el valor de acuerdo a la relación unidad de suelo-tipo de textura correspondiente

Tabla 28. Asignación de valor para K en función de la unidad de suelo y textura, en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Descripción primaria	Orden	Textura		
		Fina	Media	Gruesa
Vertisol pelico	Vp	0.026		
Vertisol Cromico	Vc	0.026		
Ranker	U	0.007	0.020	
Andosol Ocrico	To		0.040	
Andosol Molico	Tm		0.020	
Andosol Humico	Th		0.020	
Andosol Eutrico	Re		0.040	
Andosol Distritico	Rd		0.040	
Regosol Calcarico	Rc		0.020	
Luvisol Ferrico	Lf	0.007	0.020	
Luvisol Cromico	Lc	0.013	0.040	
Litosol	I	0.007	0.020	0.013
Luvisol	L	0.013	0.040	
Feozem Haplico	Hh		0.020	
Feozem Calcarico	Hc		0.020	
Cambisol Humico	Bh		0.020	
Cambisol Eutrico	Be		0.040	
Cambisol Distritico	Bd		0.040	
Cambisol Cromico	Bc		0.040	
Cambisol Ortico	Ao	0.013	0.040	

Fuente: COLPOS, 1991.

Parámetro C. el parámetro se determinó en función de la cobertura de suelo presente, se realizó la asignación de valores con la ayuda de tablas para cada cobertura descrita en el manual (Tabla 29, figura 13).

Tabla 29. Asignación de valor para C en función del uso de suelo y vegetación, en los municipios de San Simón de Guerrero y Temascaltepec

Descripción	C
Desprovisto de vegetación	0.0000
Asentamientos humanos	0.0000
Cuerpo de agua	0.0000
Zona urbana	0.0000
Bosque de oyamel	0.0040
Bosque mesófilo de montaña	0.0040
Bosque de pino	0.0040
Bosque de pino-encino	0.0040
Bosque de encino	0.0040
Bosque de encino-pino	0.0040
Selva baja caducifolia	0.0130
Descripción	C
Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel	0.0900
Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	0.0900
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	0.0900
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	0.0900
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	0.0900
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	0.0900
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	0.1200
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	0.1200
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	0.1200
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel	0.1900
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	0.1900
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	0.1900
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	0.1900
Vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino	0.1900
Agricultura de riego anual y permanente	0.2016
Agricultura de riego permanente	0.2016
Pastizal inducido	0.2600
Agricultura de riego anual	0.3900
Agricultura de temporal anual	0.3900
Agricultura de temporal anual y permanente	0.3900
Agricultura de temporal anual y semipermanente	0.6110

Fuente: COLPOS, 1991.

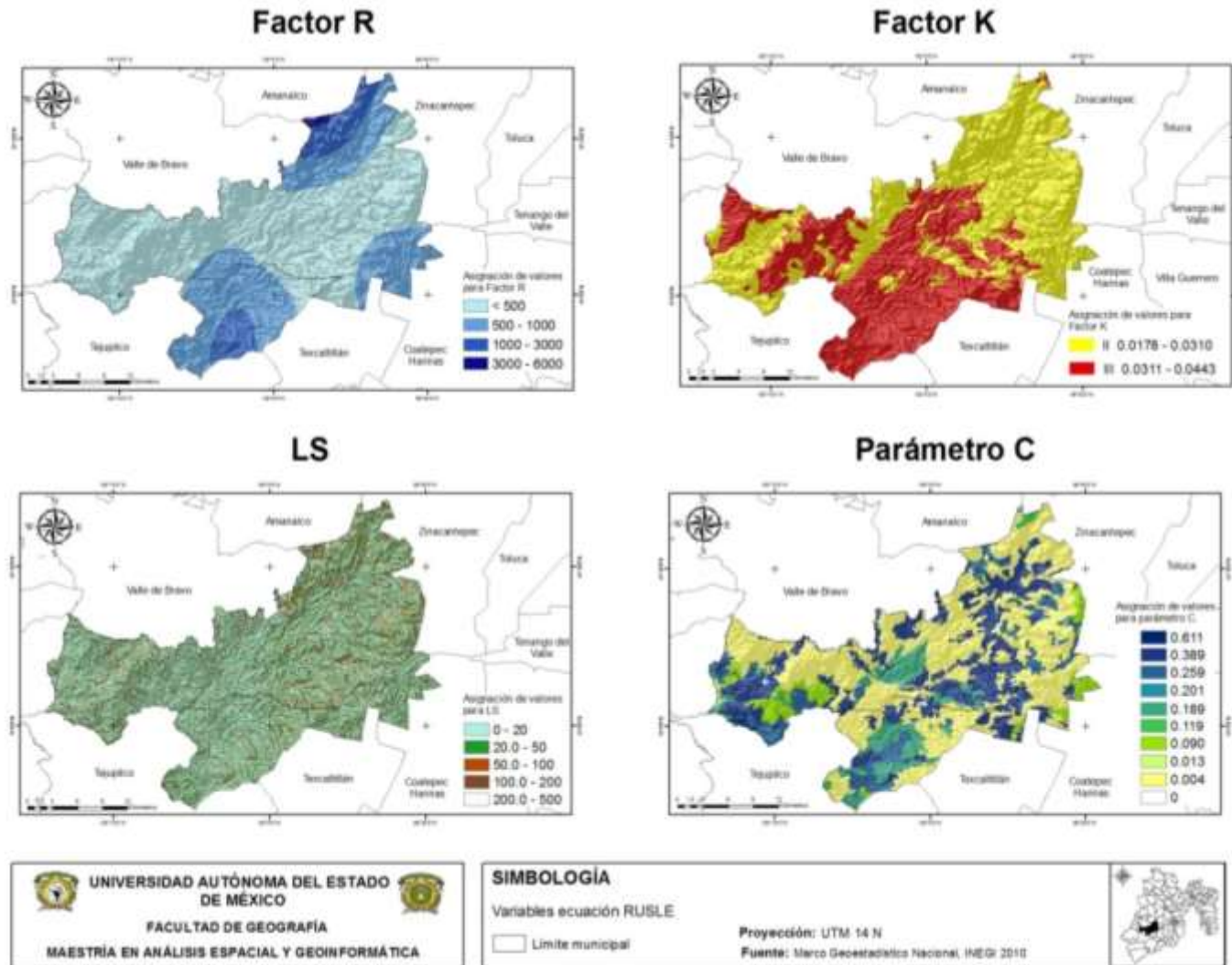
Parámetro P. Para representar las prácticas de conservación de suelo es necesario investigar si en la región se llevan a cabo este tipo de instrumentos, en caso contrario se genera cartografía de la zona con un solo valor.

Parámetros de los valores numéricos: se emplean subunidades territoriales donde se toma en cuenta el área y la resolución del píxel.

Parámetros de pendiente y exposición. Son elaborados con base en las subunidades territoriales empleando diferentes módulos (aspect, slope).

Longitud de la pendiente máxima: se obtiene multiplicando el valor del tamaño del píxel por un factor numérico. Para obtener el resultado final son multiplicados los factores anteriores con la finalidad de definir la tasa de erosión en corto tiempo.

Figura 13. Variables para ecuación RUSLE



3.3 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMAGEN SATELITAL

Mediante la clasificación de una imagen satelital SPOT 2014, con referencias de se elaboró un capa de uso de suelo actualizada; generada a partir de requerimientos específicos donde fue necesario identificar y reagrupar en usos: forestal, urbano, cuerpos de agua, pastizal, agrícola y sin vegetación (Tabla 30).

Tabla 30. Elementos y fuentes de información (clasificación supervisada)

Elementos	Escala	Fuente
SPOT 2014		
Vegetación y uso de suelo	1:50,000	Cartas analógicas E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57
Imágenes auxiliares Google Earth Pro		Google Earth Pro

Fuente: elaboración propia a partir de INEGI y Google Earth Pro.

Los campos de entrenamiento se elaboraron con base en seis cartas analógicas escala 1:50,000 de uso de suelo y vegetación serie V de INIEGI e imágenes de Google Earth Pro; las categorías al digitalizarse sobre la imagen se conocen como campos de entrenamiento, estos se establecen a través de procesos de fotointerpretación, buscando las características específicas de color, tono, textura, sombras, patrón de distribución espacial, contornos y formas (Chuvienco, 1996).

Así el objetivo de establecer los campos de entrenamiento es asignar cada ubicación una clase conocida. Cuantas más ubicaciones o campos de entrenamientos se puedan identificar por categorías (Tabla 31), más homogéneos serán los valores de celda en los campos de entrenamiento, y mejor resultado tendrá la clasificación supervisada (ArcGIS Documentación, 2017a).

Tabla 31. Agrupación de uso de suelo y vegetación

Uso de suelo y vegetación Serie V INEGI	Reclasificación
Bosque de oyamel Bosque mesófilo de montaña Bosque de pino Bosque de pino-encino Bosque de encino Bosque de encino-pino Selva baja caducifolia Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino Vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino	Forestal
Pastizal inducido	Pastizal
Zona urbana Asentamientos humanos	Urbano
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua
Agricultura de riego anual y permanente Agricultura de riego permanente Agricultura de riego anual Agricultura de temporal anual Agricultura de temporal anual y permanente Agricultura de temporal anual y semipermanente	Agricultura
Desprovisto de vegetación	Sin vegetación aparente

Fuente: elaboración propia con base en Uso de suelo y vegetación Serie V INEGI, 2013.

La clasificación supervisada en ArcGis, se realizó por medio de la barra de herramientas Image Classification. Con el siguiente proceso:

1. Herramienta Draw Training Sample Whit Polygon: esta permite digitalizar los campos de entrenamiento para cada una de las categorías descritas.
2. Herramienta Training Sample Manager: permitió administrar los campos de entrenamiento, aquí es posible editar el nombre, el valor, combinar y dividir los campos, editar el color de visualización y crear el archivo de firma.
3. Herramienta Create Signature File: crea un archivo para utilizarse en la clasificación.
4. Herramienta Interactive Supervised Classification: clasifica automáticamente la capa de la imagen seleccionada a partir de los campos de entrenamiento.
5. Herramienta Generalization, Majoriti Filter: se utilizó para eliminar las celdas mal clasificadas, y permite reemplazar las celdas en un raster según la mayoría de sus celdas vecinas contiguas. Se usó para la cantidad de vecinos 8; Majority, para establecer que la mayoría de las celdas contiguas tengan el mismo valor.
6. Herramienta Boundary Cleaner, Short_type, Asend: cambia las regiones con menos de tres celdas en la dirección x, y; ordena las zonas por tamaño en orden ascendente. Las zonas con áreas totales más pequeñas tienen prioridad mayor de expandirse en áreas totales más grandes.
7. Herramienta de Conversion Tools: para convertir el resultado de la generalización al formato vectorial.
8. Herramienta Data managements Tools Generalization Eliminate.

Desde el punto de vista metodológico, para conseguir una adecuada interpretación del proceso de clasificación supervisada, fue necesario realizar un proceso de generalización, el cual consistió en la identificar el área mínima cartografiable. El principio de área mínima cartografiable, permite lograr coherencia en la representación espacial y la eficiencia en la lectura y utilidad del mapa. Este principio indica que, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus

correspondientes contenidos deben ser generalizados; de lo contrario, dificultarían la distinción por parte del usuario (Salichtchev, 1979).

3.4 MODELO DE POTENCIALIDAD MEDIANTE EMC

La metodología para EMC se realizó mediante el método de jerarquías analíticas de Saaty partiendo del objetivo, los criterios y las alternativas.

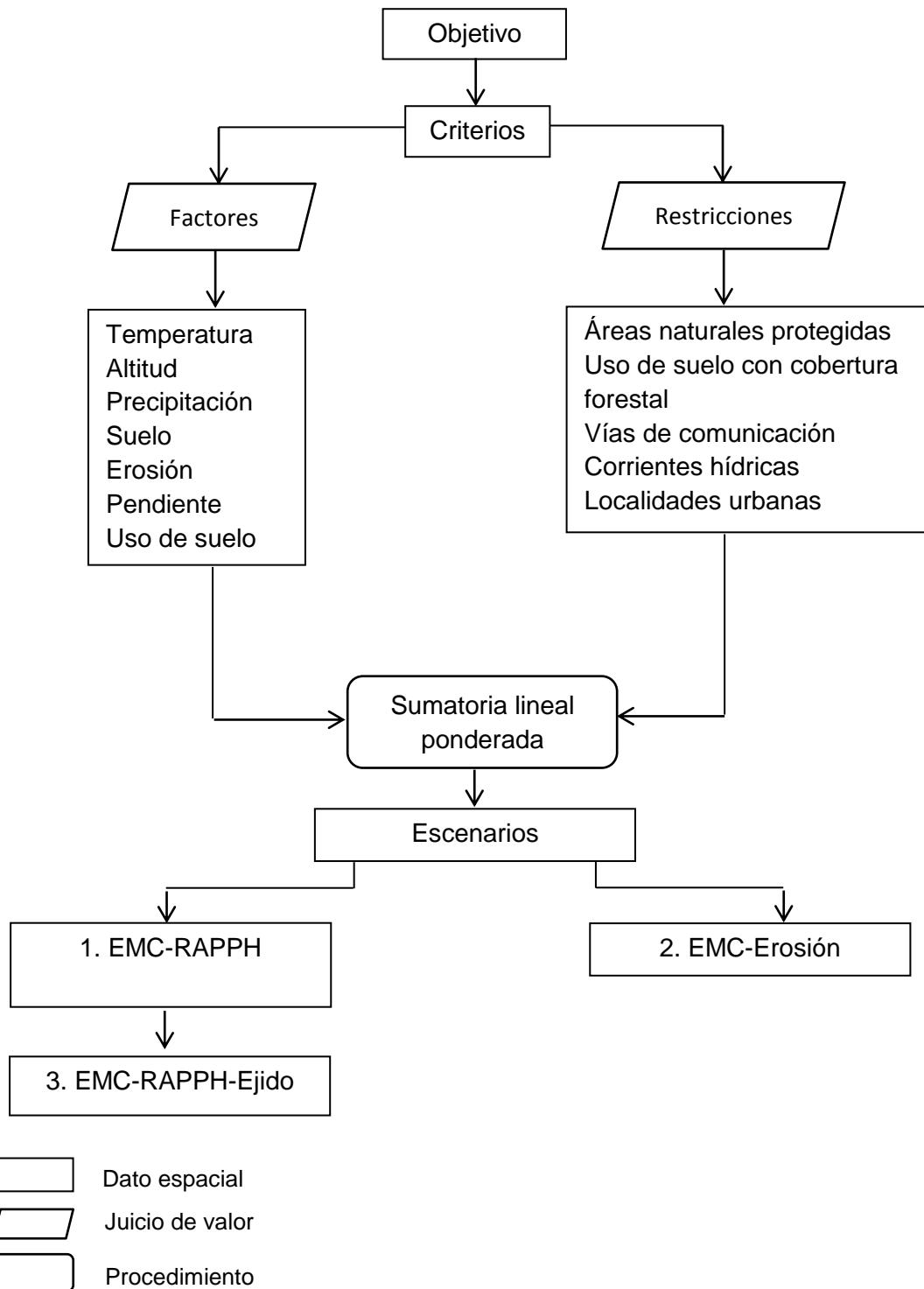
Con base en Pineda *et al.*, (2013), se realizó un esquema de procedimientos con el fin de generar un modelo de adecuación óptima con tres escenarios de mapas potenciales para introducción de higuera, el primero priorizando las variables del modelo RAPPH y un segundo considerando la capa de información resultado de la ecuación RUSLE y la clasificación supervisada de la imagen SPOT (Tabla 32, figura 14).

Tabla 32. Características de la información utilizada en EMC

Elementos	Escala	Fuente
Altitud	Resolución 15mx15m	Continuo de elevación Mexicano (CEM 3.0), INEGI, 2013
Pendiente		
Edafología	1:50,000	Cartas analógicas E14A36, E14A37, E14A46, E14A47 E14A56 y E14A57
Textura		
Temperatura		ERIC III, 19 estaciones con un lapso de 30 años (1980-2010)
Precipitación		
Vegetación y uso de suelo		SPOT 2014 reclasificada
Erosión		RUSLE
Áreas Naturales Protegidas	1:250,000	CONABIO
Vías de comunicación	1:50,000	Conjunto de datos vectoriales de carreteras y vialidades
Corrientes hídricas	1:50,000	Red hidrográfica RH18, INEGI, 2007
Localidades Urbanas	1: 250,000	Marco Geoestadístico Nacional

Fuente: elaboración propia a partir de INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014.

Figura 14. Modelo de adecuación óptima para introducción de higuera



Fuente: modificado de Pineda et al. (2013).

El objetivo fue elaborar un modelo de adecuación óptima para introducción de higuera, se consideraron tres criterios fundamentales para la potencialidad productiva de higuera mediante EMC, el primero abarca las tres principales condiciones ambientales que determinan el crecimiento y productividad de la higuera, mencionadas en orden de prioridad: temperatura, altitud, precipitación y edafología. El segundo criterio fue priorizar los lugares con presencia de erosión y el tercero dirigir el potencial hacia sitios sin vegetación o en zonas de pastizal, sin omitir el uso de suelo agrícola, con estos criterios se plantearon 3 alternativas o escenarios potenciales.

Criterios

- Superficies que cumpla con los requerimientos agroecológicos básicos para el desarrollo y productividad de la especie (temperatura, altitud, precipitación, edafología).
- Considerar los lugares con presencia de erosión, sustentado en la LDRS, Capítulo IV, Reconversión productiva sustentable, Artículo 55, Fracción V. Reorientar el uso de suelo cuando existan niveles altos de erosión o impacto negativo sobre el ecosistema.
- Priorizar sitios sin vegetación y zonas de pastizal.

Restricciones

- Limitar la potencialidad en áreas naturales protegidas que prohíben la introducción de especies exóticas; citando al decreto de reforma al Parque Nacional “Nevado de Toluca” en su Artículo Décimo Primero, fracción III. Prohibido introducir ejemplares o poblaciones exóticas de la vida silvestre (DOF 01-10- 2013).
- Restringir en áreas con cobertura forestal conforme a la LDPB, Artículo 13, Fracción IV. Vigilar para que no se realice el cambio de uso de suelo de forestal a agrícola con el fin de establecer cultivos para la producción de Bioenergéticos (DOF 01-02-2008).

- Restringir en vías de comunicación, corrientes hídricas y localidades urbanas.
- Acotar al límite de tolerancia altitudinal de la especie a 2500 msnm.

Una vez que se determinaron el objetivo, los criterios y las alternativas, se asignó la jerarquía e idoneidad a los factores y subfactores con la ayuda de un grupo de expertos, la utilización de las variables propuestas por el INIFAP y la bibliografía citada (Tabla 33).

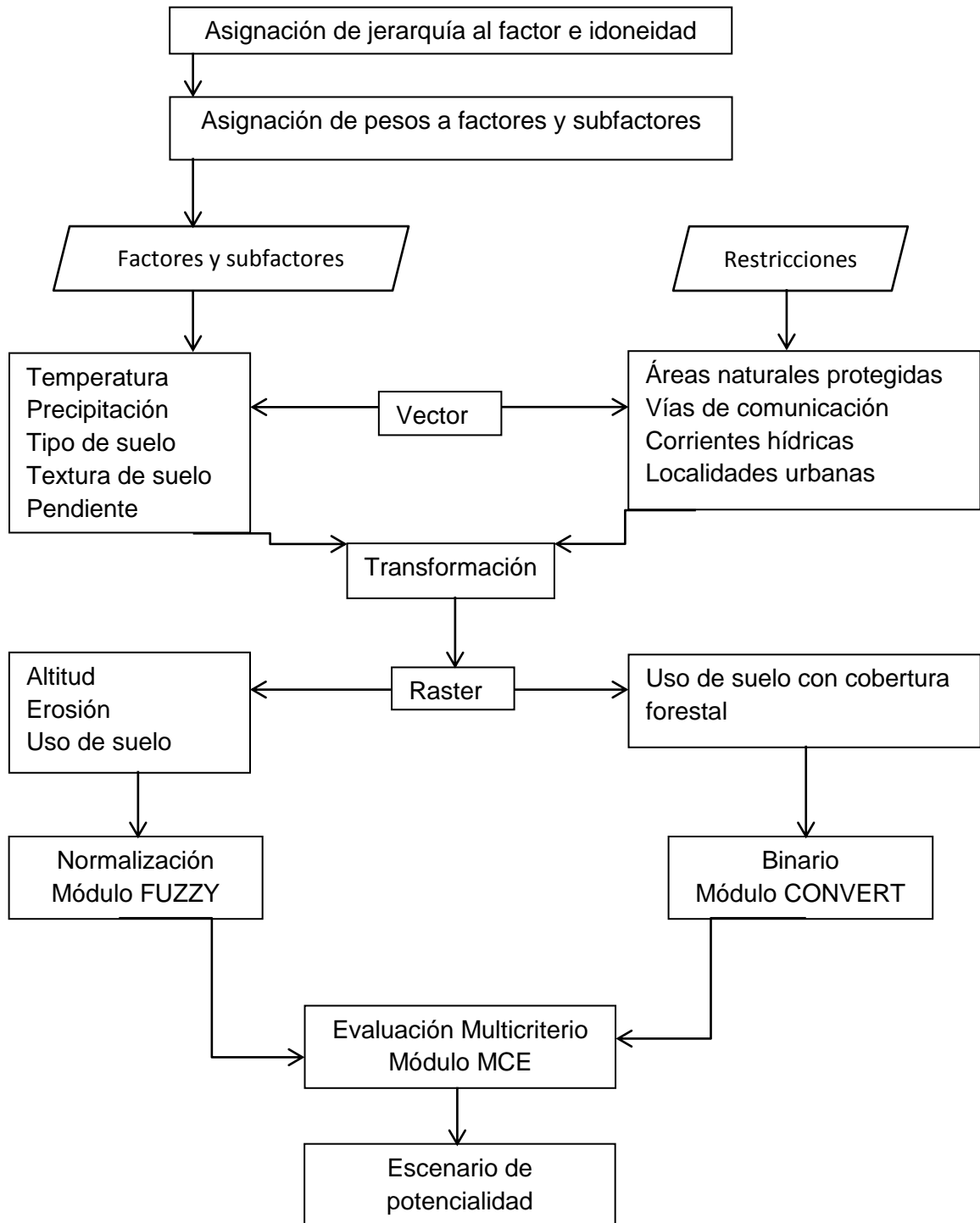
Se calcularon los pesos para cada factor y subfactor con la ayuda del método de comparación por pares de Saaty (1980). En el establecimiento de los pesos la razón de consistencia (c.r.) indica si los valores asignados en la comparación por pares son aceptables y tienen que ser menores a 0.10.

Se asignó el peso a las características de los factores y subfactores mediante las matrices de comparación por pares para cada uno. Las capas de información necesitaban estar en formato Raster para ser procesadas en los módulos del software IDRISI Selva donde se realizó la EMC, por lo que una vez asignados los pesos algunas de las capas tuvieron que ser transformadas y todas homogeneizadas al mismo número de columnas y renglones. En el caso de las restricciones, la información se representa en un formato binario (0 no apto, 1 apto); se transformó cada capa en el módulo CONVERT (Tabla 34).

Las capas de información de factores y subfactores fueron normalizadas en el módulo FUZZY utilizando una función sigmoïdal borrosa, con escala de 0.0-255 (Figura 15).

Una vez normalizados los factores y transformadas las restricciones a binario, las capas de información se introdujeron al módulo MCE (Multi-Criteria Evaluation), donde se agruparon en factores y restricciones; para el cuadro de factores se colocó el factor o sub factor y el peso de la matriz por comparación por pares de 1. EMC-RAPPH y/o 2. EMC-Erosión, en el cuadro de restricciones las capas de información en formato binario.

Figura 15. Metodo para EMC



Fuente: elaboración propia.

Tabla 33. Valor reclasificado e idoneidad para factores y subfactores

Factores u subfactores	Idoneidad	Valor	Jerarquía
Altitud (msnm)			1
0-1,600	Alta	1	
1,600-2,000	Media	2	
2,000-2,500	Baja	3	
>2,500	No apto	0	
Temperatura			2
15-30° C	Alto	1	
30-35°C	Medio	2	
< 15°C > 35° C	Bajo	3	
Precipitación (mm)			3
400-1000	Alta	1	
1000-1500	Media	2	
< 400 >1500	Baja	3	
Textura			4
Media	Alta	1	
Gruesa	Media	2	
Fina	Baja	3	
Tipo de suelo			5
Regosoles	Alta	1	
Cambisol, Feozem, Andosol, Acrisol	Media	2	
Vertisol, Litosol, Luvisol Rendzinas	Baja	3	
Erosión			6
Media, Baja	Alta	1	
Muy alta, Alta	Media	2	
Baja	Baja	3	
Pendiente			7
0-4%	Alta	1	
4-16%	Media	2	
16-40%	Baja	3	
>40	No apto	0	
Uso de suelo			8
Sin vegetación, erosión	Alta	1	
Agrícola	Media	2	
Pastizal	Baja	3	
Forestal, urbano, agua	No apto	0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Valor reclasificado e idoneidad para restricciones

Capas de información	Idoneidad	Valor	Jerarquía
Áreas naturales protegidas	Apto	1	Restricción
Red vial	No apto	0	
Corrientes hídricas			
Localidades urbanas			
Cobertura forestal			

Fuente: Elaboración propia.

Para el factor altitud fueron considerados los tres rangos establecidos por INIFAP (2001-2014), se elaboró un cuarto rango como no apto a partir de los 2500 msnm según lo citado por donde establecen que a partir de ese límite la higuera no puede prosperar, la variable altitud influye de manera directa en el periodo aprovechable para el desarrollo y la fructificación de la higuera, conforme está aumenta decrece el contenido de aceite en la semilla (SAGARPA-INIFAP, 2011), con lo que se aseguran producciones de alto o bajo valor comercial, de ahí su relevancia (Tabla 35).

Tabla 35. Matriz de comparación por pares. Altitud

Altitud	0-1,600	1,601-2,000	2,001-2,500	>2,501	Peso
0-1,600	1				0.5817
1,601-2,000	1/3	1			0.2314
2,001-2,500	1/5	1/2	1		0.1205
>2,501	1/7	1/4	1/2	1	0.0664
c.r. 0.01 consistencia aceptable					1

Fuente: elaboración propia.

La temperatura incide en la morfogénesis de la planta en procesos como crecimiento, morfología, estructura anatómica y floración (Ferrerros, 1999), el régimen de temperatura asegura producciones de alto o bajo valor comercial.

Tabla 36. Matriz de comparación por pares. Temperatura

Temperatura	15-30	30-35	<15 >30	Peso
15-30	1			0.5816
30-35	1/2	1		0.3090
<15 >30	1/5	1/3	1	0.1095
c.r. 0.00 consistencia aceptable				1

Fuente: elaboración propia.

Para la especie es perjudicial el exceso de agua (Elías y Castellvi, 1996), debido a que la planta tiende a desarrollarse más vegetativamente; demasiada humedad puede ocasionar pudriciones, lo que repercute en una disminución de la producción (SAGARPA-INIFAP, 2011) (Tabla 37).

Tabla 37. Matriz de comparación por pares para precipitación

Precipitación	400-1000	1001-1500	< 399 >1501	Peso
400-1000	1			0.6483
1001-1500	1/3	1		0.2297
< 399 >1501	1/5	½	1	0.1220
c.r. 0.00 consistencia aceptable				1

Fuente: elaboración propia.

El exceso de humedad ocasiona la muerte de la planta en la etapa inicial de su crecimiento, con efectos drásticos en la fase de floración por lo que el suelo debe ser de buen drenaje (Herrera y Medina, 2006) característica relacionada con el régimen de precipitación y la textura del suelo (Tabla 38).

Tabla 38. Matriz de comparación por pares para textura de suelo

Textura	Media	Gruesa	Fina	Peso
Media	1			0.6817
Gruesa	1/3	1		0.2158
Fina	1/7	½	1	0.1025
c.r. 0.00 consistencia aceptable				1

Fuente: elaboración propia.

Se priorizaron los suelos profundos y bien drenados, con rangos de pH de 5 a 8, es un cultivo exigente en la fertilidad del suelo, contrario a lo que se cree, se deben utilizar fertilizantes orgánicos e inorgánicos para una buena productividad (SNV, 2008), sin embargo es una especie que puede desarrollarse en suelos con fertilidad moderada, pobres o pedregosos (Herrera y Medina, 2006) (Tabla 39).

Tabla 39. Matriz de comparación por pares para tipo de suelo

Tipo de suelo	Regosoles	Cambisol, Feozem, Andosol, Acrisol	Vertisol, Litosol	Peso
Regosoles	1			0.6370
Cambisol, Feozem, Andosol, Acrisol	1/3	1		0.2585
Vertisol, Litosol Luvisol Rendzinas	1/5	1/3	1	0.1047
c.r. 0.03 consistencia aceptable				1

Fuente: elaboración propia.

Se considera una opción de cultivo que puede ser introducida en áreas donde no prosperan la mayoría de cultivos anuales, debido a la presencia de algún tipo de degradación (González, 1984), por lo que considero generar e integrar la variable erosión mediante la ecuación RUSLE utilizando los valores registrados como de media a baja erosión con potencialidad alta, de muy alta a alta con pesos medios y baja con los menores pesos (Tabla 40).

Tabla 40. Matriz de comparación por pares para erosión

Erosión	Media, Baja	Muy alta, Alta	Baja	Peso
Media, Baja	1			0.5714
Muy alta, Alta	½	1		0.2857
Baja	1/4	1/2	1	0.1429
c.r. 0.00 consistencia aceptable				1

Fuente: elaboración propia.

Herrera y Medina 2006, mencionan que la higuera proporciona sustento en terrenos localizados en laderas debido a la longitud de sus raíces, en países como Colombia la producción se realiza en terreno ondulado con pendientes superiores al 50% (Veloza, s.f.) (Tabla 41).

Tabla 41. Matriz de comparación por pares para pendiente

Pendiente	0-4%	4-16%	16-40%	>40	Peso
0-4%	1				0.5132
4-16%	½	1			0.2751
16-40%	¼	½	1		0.1376
>40	1/6	¼	½	1	0.0741
c.r. 0.00 consistencia aceptable					1

Fuente: elaboración propia.

Una de las prioridades en la metodología para bioenergéticos es determinar el potencial de biomasa al considerar restricciones de sustentabilidad como la exclusión de áreas forestales y agrícolas (Bustamante y Masera, 2016), por lo que tuvo preferencia la introducción en áreas con uso de suelo sin vegetación y erosión dada la viabilidad de la especie para ser productiva en zonas con dichas características, permanecen con baja categoría los usos de agrícola, pastizal y forestal (Tabla 42).

Tabla 42. Matriz de comparación por pares para uso de suelo

Uso de suelo	Sin vegetación	Agrícola	Pastizal	Forestal, urbano, agua	Peso
Sin vegetación	1				0.6712
Agrícola	1/5	1			0.1780
Pastizal	1/7	½	1		0.0961
Forestal	1/9	1/4	1/2	1	0.0546
c.r. 0.02 consistencia aceptable					1

Fuente: elaboración propia.

Asignados los pesos a cada una de los factores se realizaron las matrices de comparación por pares 1. EMC-RAPPH y 2. EMC-Erosión. En el primero se priorizaron altitud y temperatura, seguidas de las otras marcadas como requerimientos agroecológicos (precipitación, edafología) y tres orientadas a la búsqueda de sitios alternativos, plasmados en la política pública (Tabla 43). Para EMC-RAPPH-Erosión se consideró el factor erosión seguido de las variables del modelo RAPPH (Tabla 44).

Tabla 43. Matriz de comparación por pares 1. EMC-RAPPH

Factores y subfactores EMC	Altitud	Temperatura	Precipitación	Textura de suelo	Edafología (tipo de suelo)	Erosión	Pendiente	Uso de suelo	Peso
Altitud	1								0.2952
Temperatura	$\frac{1}{2}$	1							0.2530
Precipitación	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1						0.1782
Textura de suelo	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1					0.1131
Edafología (tipo de suelo)	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1				0.0697
Erosión	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1			0.0461
Pendiente	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1		0.0250
Uso de suelo	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	0.0196
c.r. 0.04 consistencia aceptable									1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 44. Matriz de comparación por pares 2. EMC-RAPPH-Erosión

Factores y subfactores EMC	Erosión	Altitud	Temperatura	Precipitación	Textura de suelo	Edafología (tipo de suelo)	Uso de suelo	Pendiente	Peso
Erosión	1								0.3231
Altitud	1/2	1							0.2454
Temperatura	1/3	1/2	1						0.1674
Precipitación	1/4	1/3	1/2	1					0.1074
Edafología (tipo de suelo)	1/5	1/5	1/3	1/2	1				0.0681
Textura de suelo	1/6	1/7	1/6	1/3	1/2	1			0.0452
Uso de suelo	1/8	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1		0.0246
Pendiente	1/9	1/8	1/8	1/7	1/5	1/4	1/2	1	0.0189
c.r. 0.04 consistencia aceptable									1

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Restricciones para modelo EMC

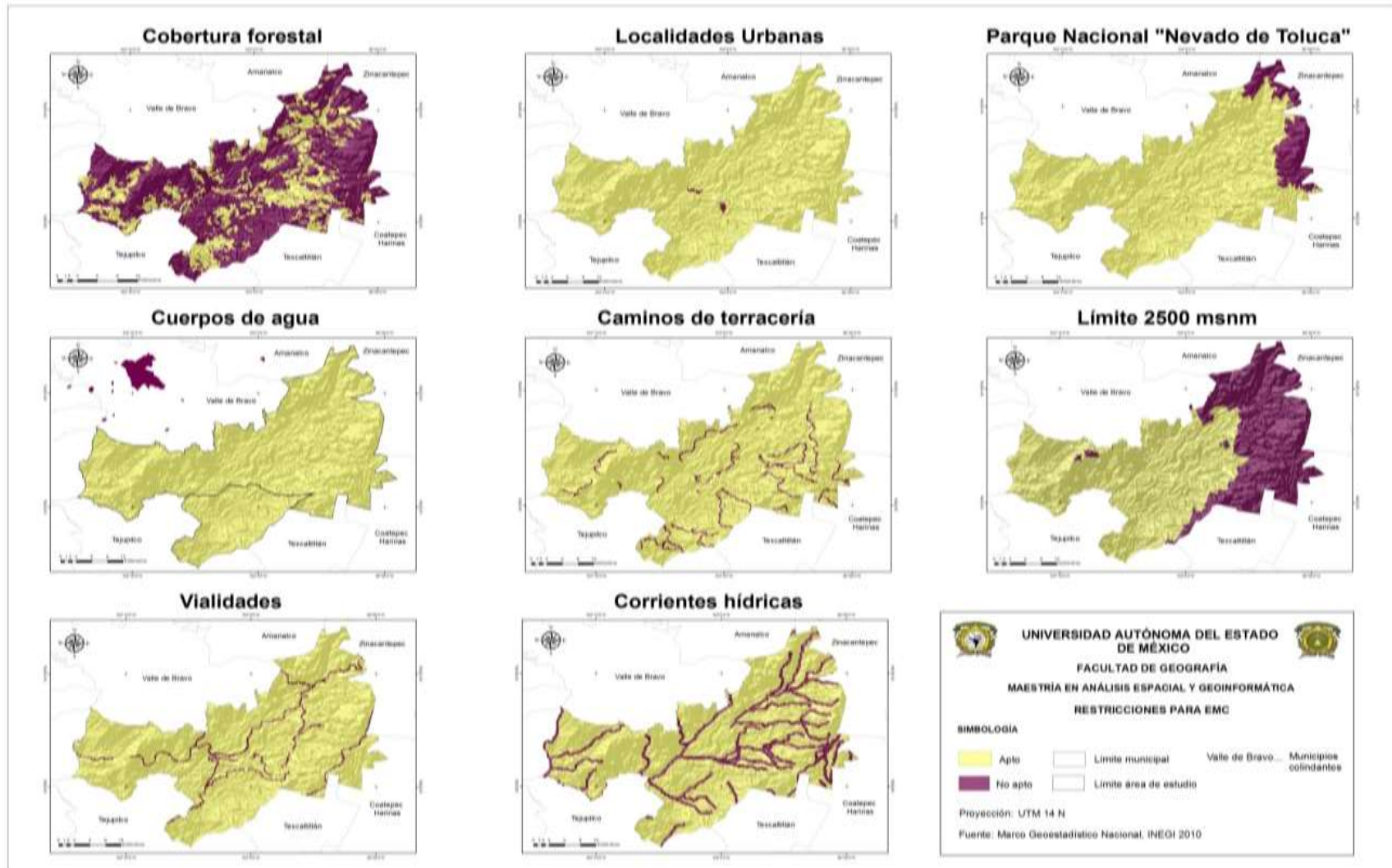
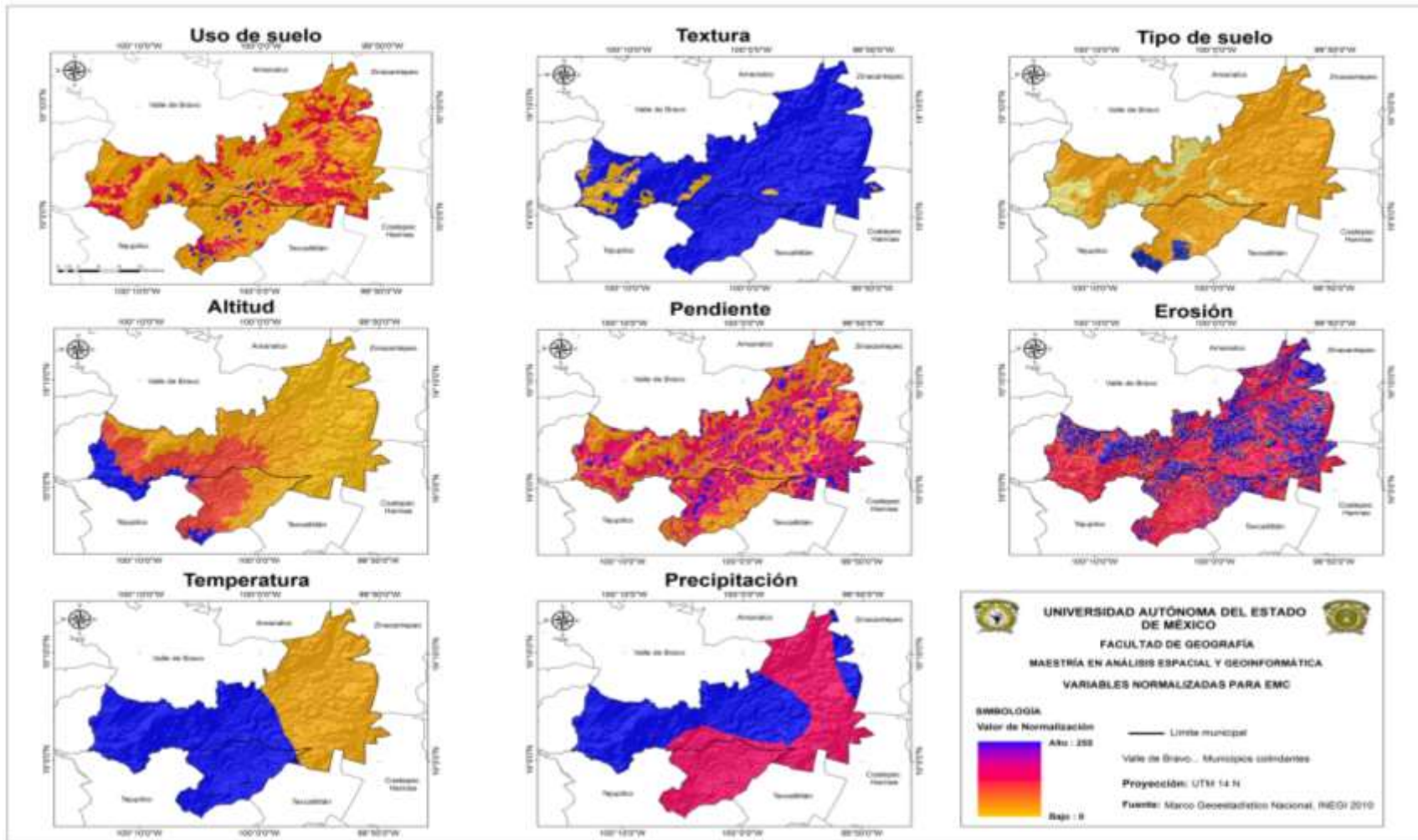


Figura 17. Variables normalizadas para modelo EMC




CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN


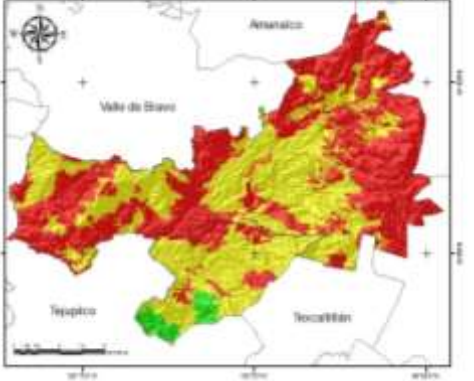

En este capítulo se presentan los resultados por objetivos de: modelo de requerimientos agroecológicos (RAPPH), cálculo de erosión hídrica mediante ecuación RUSLE, generación de capa de uso de suelo y vegetación actualizada, y modelo de potencial productivo para higuera mediante EMC; cada apartado describe las variables generadas por modelo y el modelo cartográfico final.

4.1 MODELO DE REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS CON POTENCIAL PRODUCTIVO PARA HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.) RAPPH.

En este modelo se generó la representación de las variables por asignación de valor de acuerdo a INIFAP, fueron consideradas altitud, edafología (tipo de suelo y textura), precipitación y temperatura. Al final del apartado se encuentra el resultado final de potencialidad expresado en las áreas de uso agrícola (Tabla 45).

Tabla 45. Descripción por variable para RAPPH

Variable	Descripción
 <p style="text-align: center;">Altitud</p>	<p>Altitud. Define el límite de la distribución natural de la especie, a partir de los 2,500 msnm el crecimiento de la misma es limitado y considerado no apto para producción de biocombustible. En la zona de estudio están presentes tres rangos de aptitud, siendo la zona centro y sur oeste las más beneficiadas para introducción por altitud.</p>

Variable	Descripción
<p style="text-align: center;">Temperatura</p> 	<p>Temperatura, bajo ubicado en la parte noreste donde se presentan las mayores altitudes de la zona de estudio y alto que cubre la superficie sureste, dicha variable se encuentra relacionada con la variable altitud, reflejada en gradiente térmico vertical.</p>
<p style="text-align: center;">Tipo de suelo</p> 	<p>Edafología (tipo de suelo), tiene una distribución homogénea en cuanto a los potenciales alto y bajo, está presente en menor magnitud el potencial alto hacia la zona sur. La edafología propuesta por INIFAP está priorizando suelos con potencial productivo agrícola (Regosol, Cambiosol, Feozem), en otras referencias bibliográficas consideran como potenciales los suelos Vertisol y Litosol.</p>
<p style="text-align: center;">Precipitación</p> 	<p>Precipitación. Abarca los rangos: alto para la zona noroeste y medio en mayor proporción en la parte noreste y sureste. Las condiciones de precipitación son óptimas para el desarrollo de la especie con fines de producción, no hay presencia de rangos que denoten potencial bajo.</p>

Variable	Descripción
<p style="text-align: center;">Textura</p> 	<p>Textura. Se considera de importancia debido a que la especie requiere de suelos con característica de drenaje eficiente, pues la planta es propensa a contraer enfermedades relacionadas con la humedad en las raíces. Los tipos de suelo con textura media, representan potencialidad alta, ubicados en el 90% de la superficie, mientras que para potencial bajo se consideró la textura fina localizada al oeste.</p>

Fuente: elaboración propia.

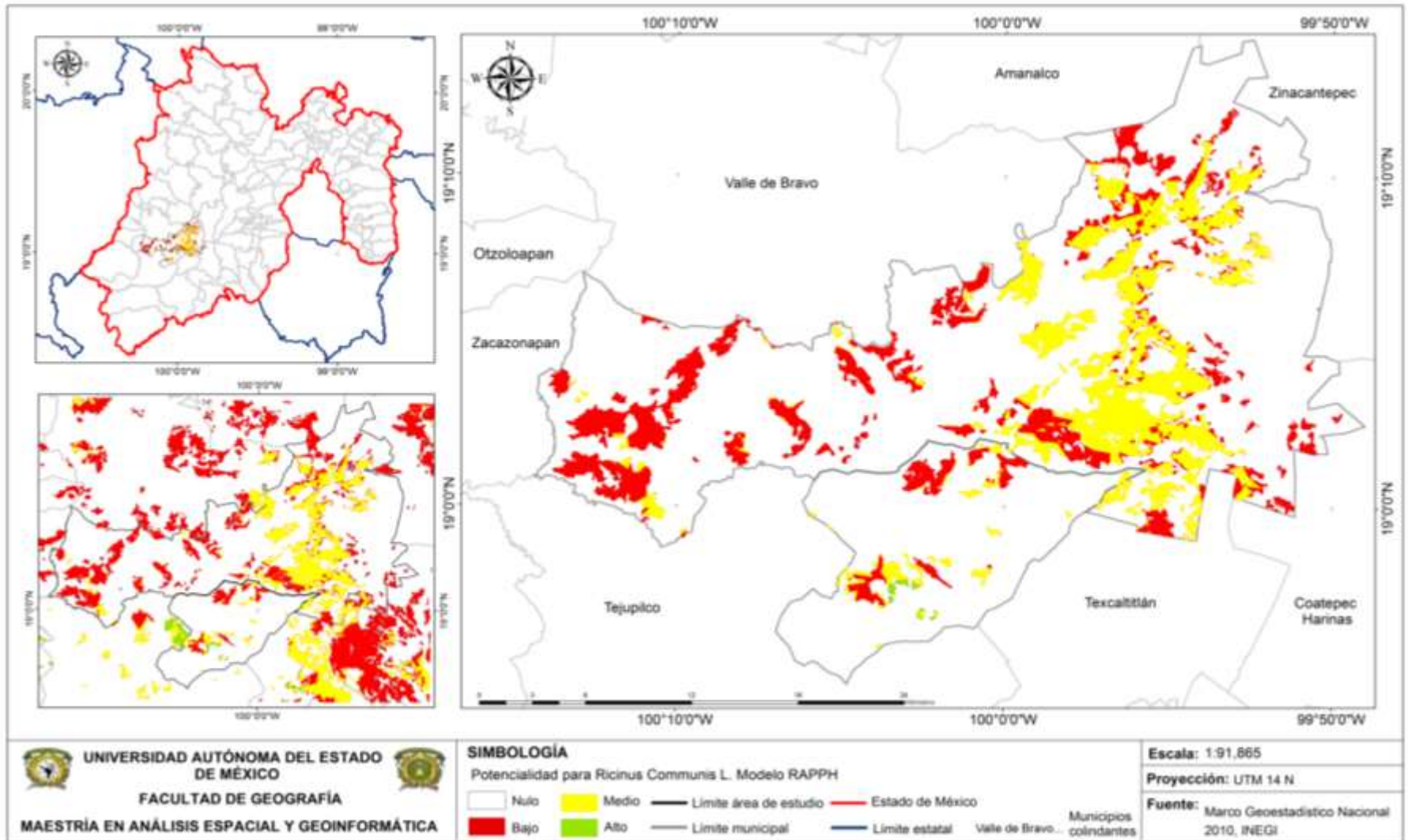
El mapa resultado del Modelo RAPPH fue el primer escenario donde se replicaron los rangos, variables y metodologías propuestas por INIFAP (2011, 2012, 2013, 2014); en este modelo no se consideraron restricciones, jerarquización o peso de prioridad en las variables. Con el resultado general de potencial se segmentó a partir el uso de suelo agrícola, de manera similar a los mapas de potencialidad generados por INIFAP. En el resultado del Modelo RAPPH se identificaron 7,141 ha con potencial bajo hacia el Noroeste y Suroeste, 7,888 ha. con potencial medio distribuido en la parte Noreste y Sureste; y 71 ha. con potencial alto ubicadas en la parte Sur del municipio de San Simón de Guerrero (Tabla 46, Figura.17).

Tabla 46. Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH

Modelo RAPPH		
	Hectáreas	%
Bajo	7,141.1	47.3
Medio	7,888.1	52.2
Alto	71.0	0.5
Total	15,100.2	100

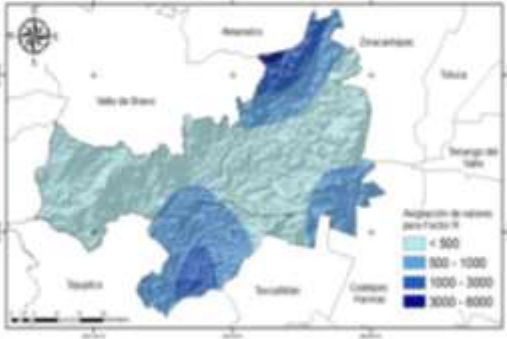
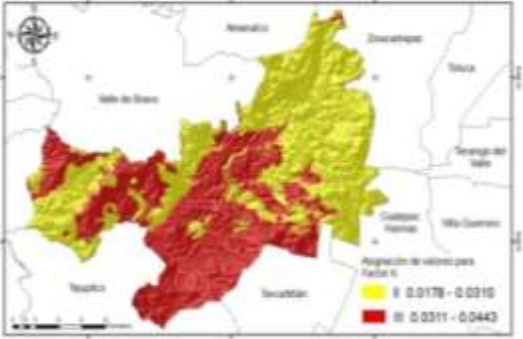
Fuente: elaboración propia

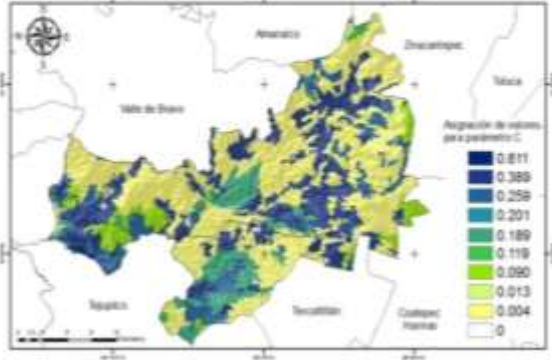
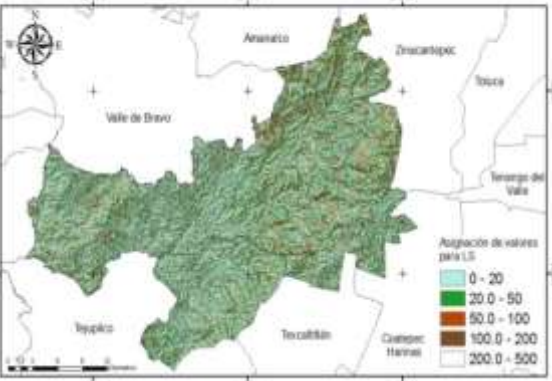
Figura 18. Mapa de modelo RAPPH en uso de suelo agrícola.



4.2 ESTIMACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE ECUACIÓN RUSLE

Tabla 47. Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH

Variable	Descripción
<p style="text-align: center;">Factor R</p> 	<p>Factor R. El mapa del factor expresa la energía cinética por unidad de superficie (Mj/ha*mm/hr), con base en la precipitación promedio anual correspondiente a la zona. De acuerdo a los resultados se generaron cuatro rangos para el factor de erosividad por lluvia: <500 muy baja distribuida de este a oeste en la zona centro, 500-1000 baja, 1000-3000 Mediana y 3000-6000 alta R al noreste, sur y sureste.</p>
<p style="text-align: center;">Factor K</p> 	<p>Factor K. De los seis intervalos manejados por COLPOS (1991), los municipios de estudio presentaron los suelos asociados a los intervalos II y III. El II con asignación en color amarillo de 0.0178-0.0310 hay presencia de tipos de suelo Vertisol, Litosol, Feozem, Acrisol (con textura fina) y Andosol húmico; en el intervalo III 0.0311-0.0443 correspondiente al color rojo, se encuentran presentes los suelos Cambisol, Regosol, Luvisol, Andosol ocrico y Acrisol. Los rangos II y III se refieren a suelos considerados como de baja y mediana erosividad por efecto del agua en ausencia de vegetación. No se registraron suelos considerados como susceptibles a erosión.</p>

Variable	Descripción
<p style="text-align: center;">Parámetro C</p> 	<p>Parámetro C. Se encuentra relacionado con las pérdidas por erosión de acuerdo a usos y gestiones de las coberturas de suelo, fueron establecidos diez valores asignados a la cobertura, los polígonos claros tienen valores 0.004 y 0.013 que corresponden a vegetación primaria de bosque y selva, donde la cobertura forestal disminuye aumenta la probabilidad de pérdida por erosión, se consideraron los valores 0.090, 0.120 y 0.190 para vegetación secundaria arbustiva y arbórea de bosque y selva (vegetación con perturbación); finalmente 0.201, 0.260, 0.390 y 0.611 son asignados a agricultura de riego y temporal, usos considerados con mayor susceptibilidad a erosión.</p>
<p style="text-align: center;">LS</p> 	<p>LS. Las longitudes de pendiente y exposición muestran las sinuosas formas del terreno. Las pendientes pronunciadas sumadas a sitios con poca cobertura vegetal y un régimen de precipitación de moderada a intensa, favorecen el desarrollo de procesos erosivos. La zona presenta una estructura geomorfológica compleja donde están presentes en el 90% de la superficie cañadas y lomeríos, en menor proporción valles donde se encuentra asentada la población.</p>

Fuente: elaboración propia.

En el mapa resultado de la ecuación RUSLE (Tabla 48, Figura 22), se expresaron cinco grados de erosión que fueron de muy bajo a muy alto, el mayor porcentaje de erosión en el área se ubicó entre los rangos alto y muy alto con 34,121 ha, equivalente al 48.8% de la superficie de estudio, con mayor superficie al sur y oeste de los municipios (Tabla 48).

Tabla 48. Resultados por hectárea y porcentaje para Modelo RAPPH

RUSLE		
	Hectáreas	%
Muy bajo	14785.9	21.2
Bajo	3290.1	4.7
Medio	17665.1	25.3
Alto	5832.1	8.3
Muy alto	28289.0	40.5
Total	69868.1	100

Fuente: elaboración propia.

4.3 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMAGEN SATELITAL

Para la clasificación de la imagen se consideraron cinco usos de suelo (Tabla 49, Figura), se realizó la agrupación las superficies, para facilitar la identificación de áreas encaminadas a la potencialidad o la restricción del cultivo. El uso con mayor porcentaje en superficie fue el forestal con 70.5%, en este se agruparon 20 tipos de uso de la serie V de INEGI (bosque, selva, vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea)

Tabla 49. Resultados por hectárea y porcentaje para imagen SPOT 2014 mediante clasificación supervisada

Uso	Área	%
Agrícola	15519.2	22.2
Forestal	49240.9	70.5
Pastizal	3686.5	5.3
Sin Vegetación	1065.4	1.5
Urbano	356.8	0.5
Total	69868.8	100

Fuente: elaboración propia

Figura 19. Mapa grados de erosión

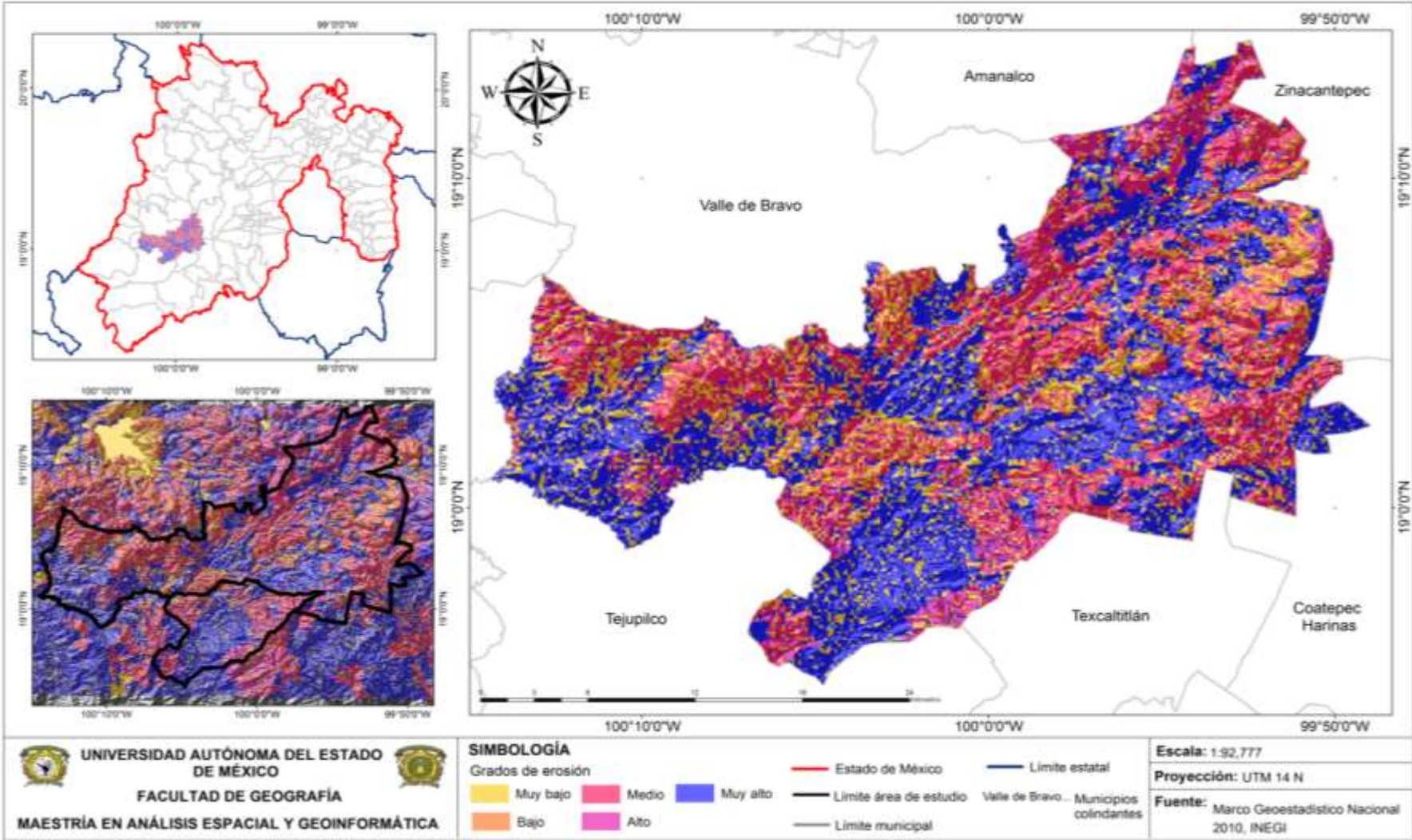
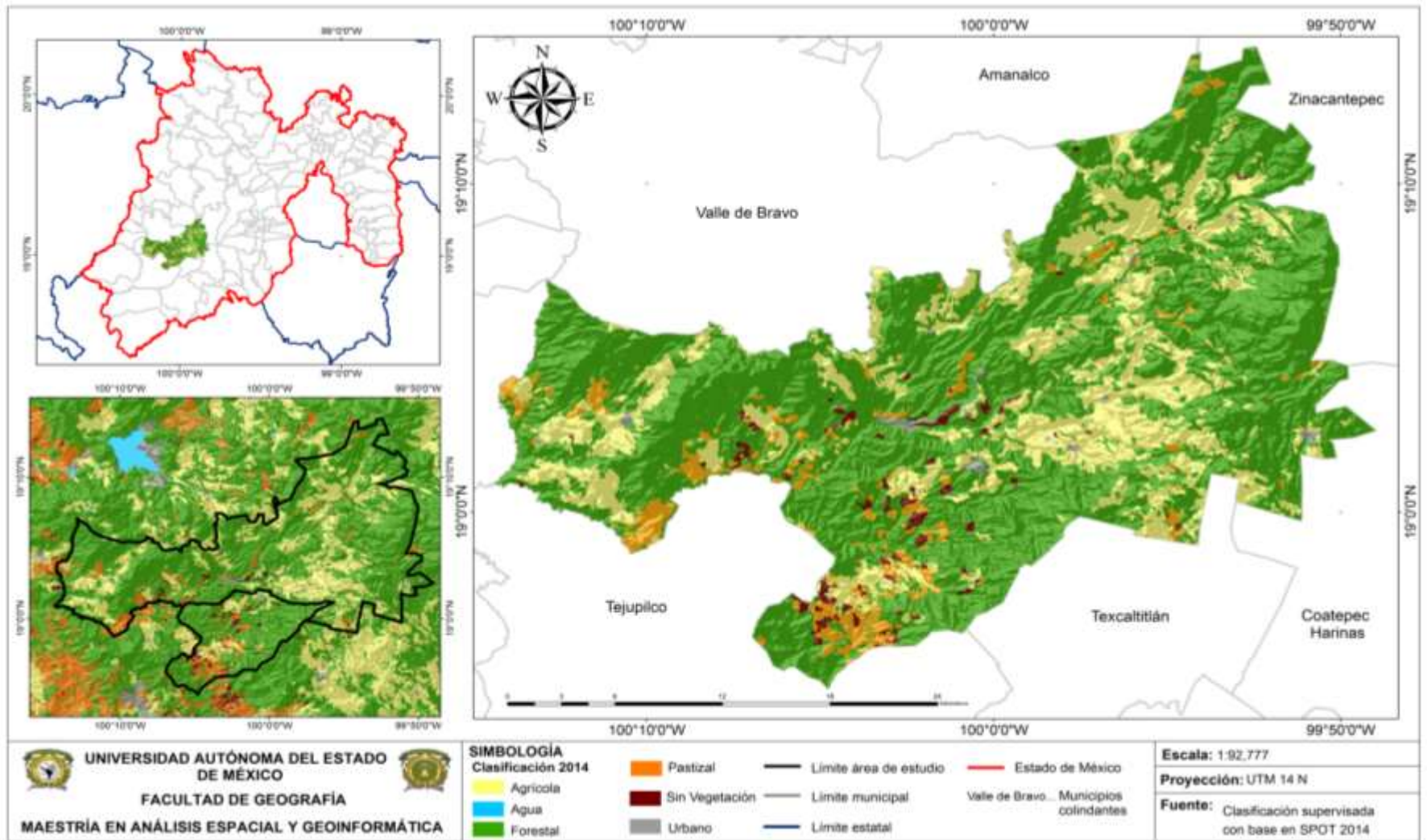


Figura 20. Mapa de Clasificación supervisada con SPOT 2014



4.4 MODELO DE POTENCIALIDAD MEDIANTE EMC

Del modelo de potencialidad para higuierilla elaborado a partir de la metodología de evaluación multicriterio, se generaron tres mapas, los dos principales fueron el resultado de las adecuaciones 1.EMC-RAPPH y 2.EMC-Erosión, y el tercero 3.EMC-RAPPH-Ejido, donde se incorporó la cartografía de polígonos ejidales del Registro Agrario Nacional (RAN) con la finalidad de determinar beneficiarios potenciales con este tipo de tenencia.

La cartografía de potencial por EMC se encuentra fundamentada dentro de los tres pilares del desarrollo sustentable, considerando principios para la producción de biocombustibles en la propuesta de potencialidad. Los criterios pudieron ser expresados en forma de variables cualitativas y cuantitativas utilizadas en la elaboración del modelo (Tabla 50).

Tabla 50. Criterios de sustentabilidad para producción de biocombustibles considerados en los modelos de EMC

Criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles en México			Criterios en EMC
	Principio	Criterio	
Ambiental:	Cambios en el uso de suelo y competencia por alimentos	1. Evitar el uso de suelo con vegetación nativa a cultivos biocombustibles.	Se limitaron las zonas con diferentes tipos de vegetación nativa.
		3. Fomentar el uso de tierras degradadas.	Se generó e integró la variable erosión.
		4. Evitar la conversión de tierras destinadas a la producción de alimentos.	Se priorizaron las zonas de pastizal o sin vegetación.
	Conservación de la biodiversidad	1. Preservación y mejora de la biodiversidad en los lugares de producción o que pueda verse afectada por esta.	Restricción en zonas con vegetación y en áreas naturales protegidas.
		2. Evitar contaminación de áreas naturales y protegidas cercanas a la unidad de producción	

Criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles en México			Criterios en EMC
Social	Principio	Criterio	
	Condiciones laborales	2. La tenencia y derechos de uso de la tierra deberán estar claramente definidos y legalmente establecidos y ser respetados	Se consideró el uso de cartografía ejidal como referente
Desarrollo social	6. Mejora de la gestión ambiental a nivel local 7. La producción de biocombustible no debe interferir en la generación de otras oportunidades de desarrollo en la localidad	Higuerilla-erosión-pendiente	
Económico	Viabilidad económica	1. La producción de biocombustibles debe ser rentable y competitiva ante el uso de combustibles fósiles	La potencialidad está considerada a partir de un potencial productivo propuesto en toneladas por hectárea, cada una de las variables se encuentra ponderada para determinado nivel de producción

Fuente: elaboración propia con base en Bustamante y Masera, 2016.

En el modelo de adecuación 1.EMC-RAPPH, se priorizaron las variables del modelo RAPPH consideradas como factores y subfactores (temperatura, altitud, precipitación, textura de suelo, tipo de suelo) y las restricciones (áreas naturales protegidas, uso de suelo con cobertura forestal, vías de comunicación, corrientes hídricas y áreas urbanas); como resultado se obtuvieron 9,975 ha. con potencialidad, de las cuales el 7.3% fueron para potencialidad baja ubicada en la parte noreste, potencialidad media con 5.5% de la superficie, orientada al sur y oeste y 1.3% equivalente a 888 ha. al suroeste del municipio de Temascaltepec. Para el municipio de San Simón de Guerrero se identificaron en mayor proporción áreas con potencialidad media y escasa potencialidad alta.

El modelo 2.EMC-Erosión consideró a la variable erosión como el factor principal, seguido de las variables del modelo RAPPH, tomando en cuenta que se deben

respetar los requerimientos esenciales de la especie para el óptimo desarrollo del cultivo; fueron retomados los mismos criterios con cambios de jerarquía (se eligió el uso de suelo antes de la pendiente). El resultado obtenido de 2.EMC-Erosión muestra una distribución espacial con mayor potencialidad media (7.7%), 3,959 ha. con potencialidad baja y 692 ha. con potencialidad alta, ubicada en la zona suroeste del municipio de Temascaltepec.

La elaboración del mapa 3.EMC-RAPPH-Ejido, se realizó con base, en los criterios de tenencia usos y derechos de la tierra (Principio social de condiciones laborales, Tabla 51), que se articula con la LDRS, en el Capítulo XIV, donde se busca promover y fomentar el desarrollo del capital en el medio rural, por medio del Artículo 146. Los miembros de ejidos y pequeñas propiedades rurales serán sujetos de atención prioritaria en programas de apoyo (DOF 7-12-2001). Considerando esta ventaja para el desarrollo rural se ubicaron 6,520 ha. con potencial para introducir higuera, de las cuales 811 ha se localizan dentro de terrenos ejidales.

Tabla 51. Resultados por hectárea y porcentaje de acuerdo a potencialidad en modelos de adecuación mediante EMC

Potencial		EMC				3.EMC-RAPPH - Ejido	
		Adecuación 1 1.EMC-RAPPH		Adecuación 2 2.EMC-Erosión			
		Ha.	%	Ha.	%	Ha.	%
No apto	Uso forestal	22,209.8	31.8	22,209.8	31.8		
	limite altitudinal	27,031.8	38.7	27,031.8	38.7		
	Otros	10,651.2	15.2	10,600.8	15.2		
	Total	59,892.8	85.7	59,842.4	85.6		
Bajo		5,259.8	7.5	3,959.2	5.7	2828.5	6.6
Medio		3,828.2	5.5	5,374.6	7.7	2880.3	6.7
Alto		888.0	1.3	692.5	1.0	811.3	1.9
Total		69,868.8	100	69,868.8	100	42,404.7	100

Fuente: elaboración propia

Figura 21. Modelo de adecuación 1.EMC-RAPPH

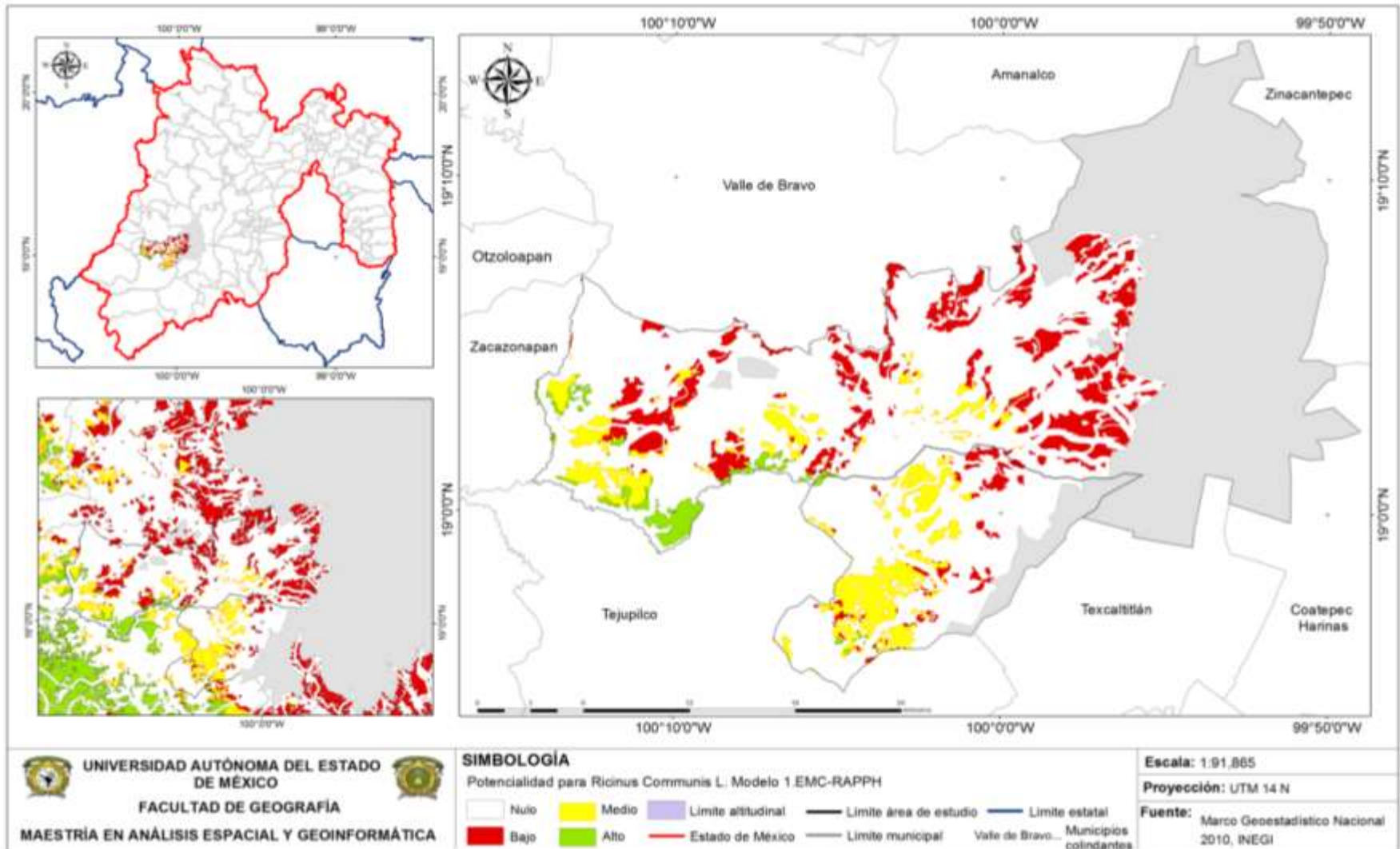


Figura 22. Modelo de adecuación 2.EMC-Erosión

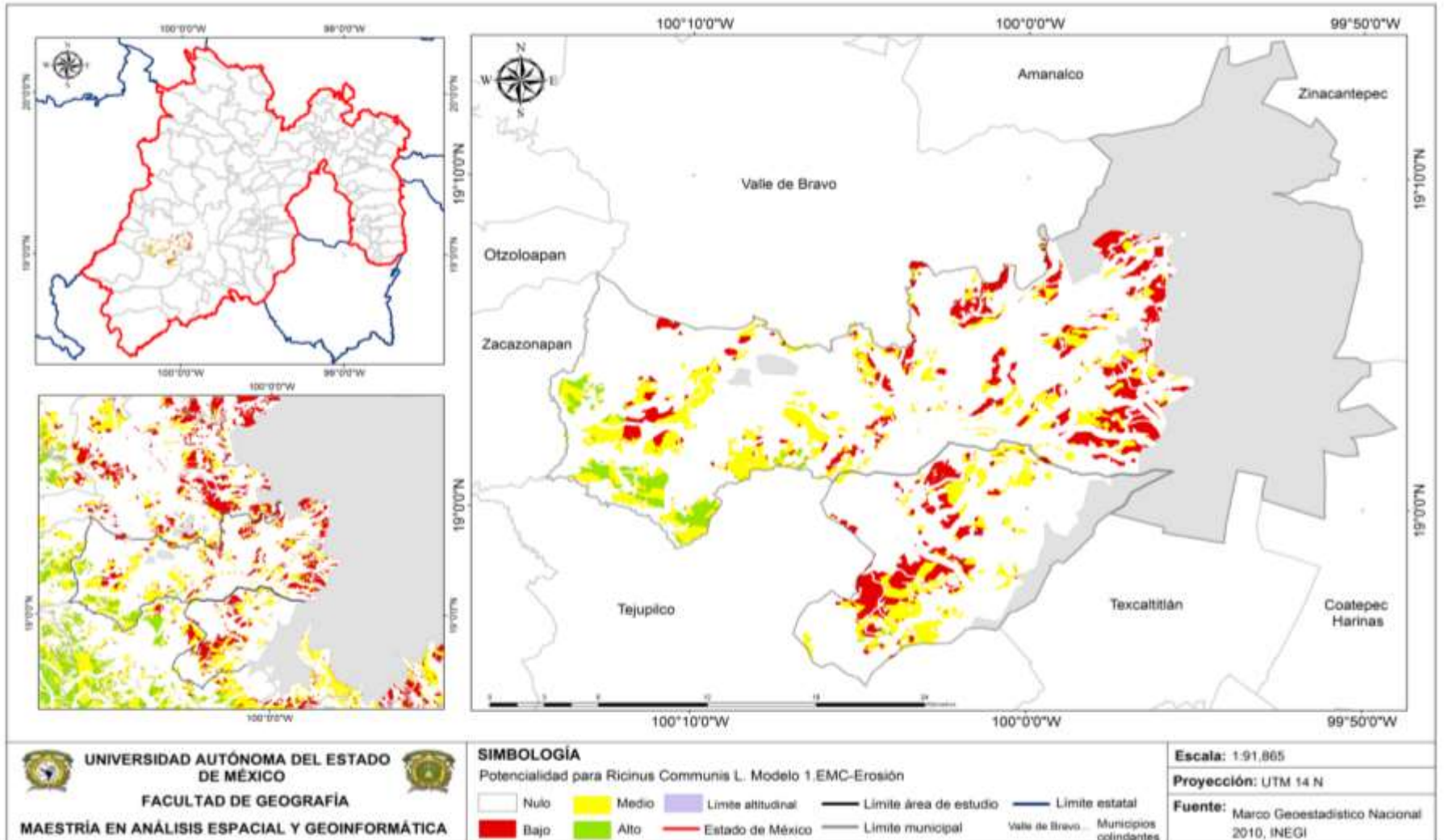
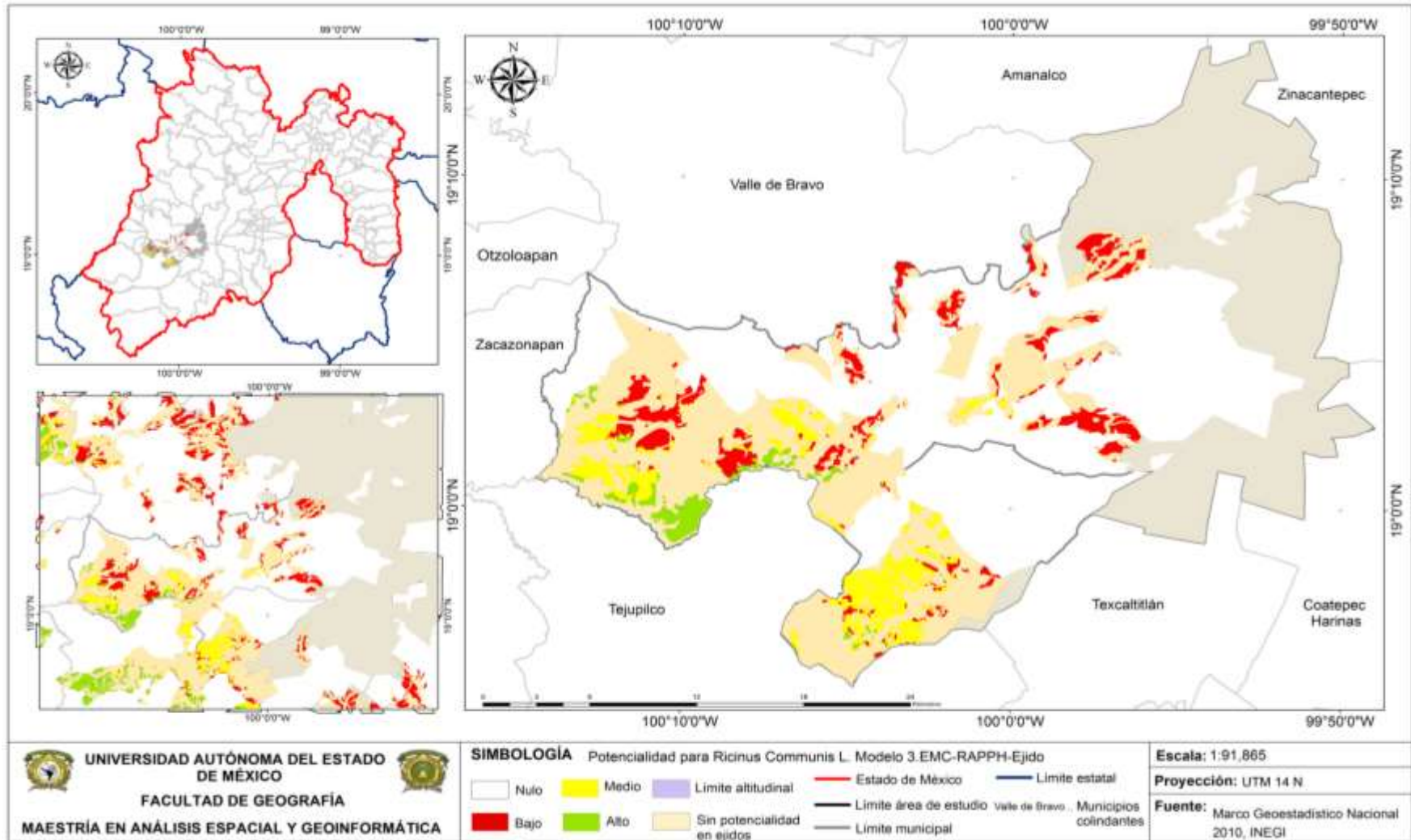


Figura 23. Modelo de adecuación 3.EMC-RAPPH-Ejido



DISCUSIÓN GENERAL

Uno de los principales retos en la producción de materia prima para bioenergéticos es la elección de lugares con potencialidad; los modelos generados a nivel nacional nos brindan un primer escenario de las zonas donde puede dirigirse una introducción específica, para esto deben ser consideradas escalas de información que proporcionen mayor detalle en atributos espaciales que puedan favorecer la introducción de cultivos promisorios.

El uso de tecnologías de información geográfica favorece los procesos de análisis espacial, la utilización conjunta de estas dos herramientas implica el manejo de conocimientos teórico-técnicos. Los procesos de análisis espacial utilizados en la presente investigación fueron la consulta espacial, procesos de medición, combinación, transformación, análisis de superficies, optimización y modelación, esta última elaborada para simplificar la generación de mapas de potencial productivo de higuierilla, con posibilidad de ser utilizada como guía en la planeación estratégica de la especie en esta zona de estudio y replicando los procedimientos para identificar otras zonas de interés; considerando un nivel de desagregación detallado para su uso operacional.

Dentro de la generación y uso de información se debe destacar el uso de variables base que son utilizadas en los dos modelos y las dos capas de información para EMC, con el tratamiento de información analógica y digital se elaboraron las variables para temperatura y precipitación con la base de datos de ERIC III, la altitud y la pendiente a partir del CEM, los tipos de suelo, textura y uso de suelo y vegetación mediante la digitalización de cartas analógicas, la erosión determinada a partir de ecuación RUSLE y el uso de suelo actualizado con la imagen SPOT 2014; se tuvo la necesidad de generar los insumos debido a los requerimientos por el tamaño de aplicación, garantizando en lo posible la integridad de la información y su uso homogéneo dentro de la mayoría de los procesos. Obtener y procesar la información para modelos a nivel municipal dificulta y obstaculiza su

elaboración por lo cual la mayoría de los estudios sobre potencialidad se realizan a nivel nacional (Tabla 52).

Tabla 52. Generación y uso de la información en propuesta de modelos de potencialidad para higuera

Variables base	Información base	Modelo RAPPH	EMC	RUSLE	Imagen reclasificada
Temperatura	Base de datos ERIC III	*	*	*	
Precipitación		*	*	*	
Altitud	CEM	*	*	*	
Pendiente					
Tipo de suelo	Cartas analógicas de edafología 1:50,000	*	*	*	
Textura (Suelo)		*	*	*	
Uso de suelo y vegetación	Cartas analógicas de uso de suelo y vegetación 1:50,000		*		*
Erosión	RUSLE		Grados de erosión		
Uso de suelo y vegetación (Imagen reclasificada)	SPOT 2014		Uso de suelo actualizado		
ANP					
Red vial					
Corrientes hídricas					

Fuente: elaboración propia

	Generada con información base
	Manejadas sin modificación
	Empleada

Para el desarrollo de los modelos se consideraron: las propuestas de potencialidad generadas a nivel nacional, los requerimientos de la especie (INIFAP, 2011, 2012, 2013, 2014), las políticas públicas que orientan y norman la introducción de cultivos bioenergéticos y los criterios de sustentabilidad para la producción de biocombustibles.

Después de considerar los requerimientos agroecológicos como fundamentales dentro de la propuesta, se retoma dos premisas recurrentes en la bibliografía para la introducción de higuera; la primera consiste en priorizar la introducción en áreas degradadas o perturbadas y la segunda considera el uso de suelo (actualizado) donde sea posible identificar áreas donde no exista vegetación y no se promueva el cambio de uso de suelo forestal a agrícola. Estas orientaciones para la introducción y las políticas públicas formuladas son difíciles de modelar a escala nacional debido a la falta de información actualizada y a las características de los modelos a nivel nacional (1:250 000, 1: 1 000 000); existe una posibilidad más amplia si plantean y ejecutan a nivel de proyecto.

En los resultados obtenidos del modelo RAPPH se calculó la superficie para uso agrícola con un total de 15,100 ha. (Tabla 53) con potencialidad (alta, media, baja), debido a que el modelo generado se construye para uso del suelo (agrícola), sería necesario integrar las características que se pretendan ubicar, así como las restricciones y coberturas de uso del suelo. El modelo permite identificar y localizar una superficie mayor (número de hectáreas) con potencial de cultivo, debido a que no cuenta con variables restrictivas y, sin adecuación en los valores de potencial retomados por INIFAP.

Los escenarios de la EMC permiten identificar y calcular la superficie total para el área de estudio (Tabla 53) y no únicamente para un tipo de cobertura como el modelo RAPPH, se pudo determinar de manera precisa la superficie no apta con uso forestal, límite altitudinal de la especie, uso urbano y superficie con infraestructura. También fue posible ubicar zonas sin vegetación aparente, para la introducción de la especie, que de acuerdo al cálculo de la ecuación RUSLE existe

la presencia de procesos erosivos, premisa básica la introducción de la especie que acuerdo con Falasca *et al.* (2012), es factible utilizar tierras de baja productividad para no competir con el mercado alimentario.

Un subfactor que se anexó en la EMC derivado de las referencias bibliográficas fue la pendiente, donde se menciona la capacidad productiva de la especie en pendientes pronunciadas y superficies degradadas, sin embargo de acuerdo con Valero y Cortina (2013), a partir de una investigación *in situ* sobre la producción de piñón (*Jatropha curcas*) (bioenergético cuya introducción también se orienta a zonas degradadas y con pendientes), se recomendó no introducir la especie en tierras marginales, debido a que se observó que para el buen desarrollo se requiere de agroquímicos y tierras apropiadas.

A pesar de que existen diferencia en los resultados de potencialidad a nivel de hectáreas, la distribución espacial es de manera similar para los diferentes niveles: hacia el noreste se encuentran las potencialidades bajas; en la parte centro (dirección de norte a sur) se presentan las potencialidades medias y al suroeste la potencialidad alta, representativa en el municipio de Temascaltepec.

De manera general los resultados obtenidos mediante la construcción de los modelos se identificaron dos limitantes: la primera referente a los requerimientos de la especie donde las variables de altitud y la temperatura limitaron la distribución en zona Noreste donde se superan los 2,500 msnm (altitud), sin embargo existe evidencia que favorece a las zonas con potencialidad baja y media, de acuerdo a Bonilla *et al.* (2016) se ha logrado producción a 2,240 msnm, sugiriendo la posibilidad de generar material mejorado adaptado a estos niveles altitudinales, mientras que Córdoba (2012), evidenció que la planta de higuera (dependiendo de la variedad) se adapta a rangos térmicos por debajo y por encima de los que, tradicionalmente, se han considerado para su cultivo; por lo que la productividad por hectárea puede variar.

La segunda fue la restricción aplicada al tipo de cobertura (forestal), donde se agrupan 20 usos de suelo que abarcan las comunidades vegetales de bosque, selva, vegetaciones secundarias arbóreas, arbustivas y herbáceas que cubrieron una superficie total de 22,209 ha., las dos limitantes representan el 70% de la superficie de los dos municipios.

Tabla 53. Resumen de modelo EMC y modelo RAPPH

Potencial		EMC						Base INIFAP		
		Adecuación 1 (RAPPH)		EMC-RAPPH hectáreas en polígonos ejidales		Adecuación 2 (Variable Erosión)		RAPPH		
		Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%	
No apto	Uso forestal	22,209.8	31.8			22,209.8	31.8			
	limite altitudinal	27,031.8	38.7			27,031.8	38.7			5,833
	Otros	10,651.2	15.2			10,600.8	15.2			
	Total	59,892.8	85.7			35,884.7	84.6			59,842.4
Bajo		5,259.8	7.5	2828.5	6.6	3,959.2	5.7	7,141.1	47.3	
Medio		3,828.2	5.5	2880.3	6.7	5,374.6	7.7	7,888.1	52.2	
Alto		888.0	1.3	811.3	1.9	692.5	1.0	71.0	0.5	
TOTAL		9,976	100		100	10,026	100	15,100.2	100	
		69,868.8				42,404.7		69,868.8		
Calculo de superficie total para área de estudio								Calculo de superficie para uso agrícola		

Fuente: elaboración propia.

	No apto
	Potencial bajo
	Potencial medio
	Potencial alto
	Total de área con potencial

CONCLUSIONES

- El área de estudio cuenta con características físicas que permiten la introducción de higuera, mediante la elaboración de los modelos fue posible plantear sitios óptimos, conociendo tres niveles de potencialidad calculada en toneladas por hectárea.
- El modelo RAPHH generado a partir de los requerimientos agroecológicos permite un acercamiento inicial a la potencialidad en los municipios de estudio y, fue posible identificar las zonas para introducción de higuera en área de uso agrícola.
- La revisión bibliográfica indica que los procesos de erosión pueden ser controlados mediante el cultivo de higuera, utilizando tierras ociosas o con poca producción en otros cultivos, la variable se consideró en la EMC, pero son necesarios estudios en campo para comprobar su efectividad.
- Contar con una capa de uso de suelo y vegetación (lo más actualizado posible), esto favorece la localización de áreas que cubren las características requeridas y permite validar los resultados mediante el uso de herramientas como Google Earth.
- El modelo elaborado mediante EMC, mostró de manera detallada la ubicación de lugares potenciales para el cultivo de higuera con uso de suelo diferente al agrícola, gracias a la incorporación de la imagen SPOT, anexando una capa de información que aporta precisión al modelo de potencialidad sitios alternativos de introducción y restricciones.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones para la elaboración de modelos orientados a la producción de biocombustible

- Antes de generar modelos con escalas de información 1:50 000, se recomienda la consulta como referencia inicial de mapas para potencialidad elaborados a nivel nacional.
- En la generación de los modelos para potencialidad es recomendable elaborar una cobertura de uso de suelo con una temporalidad reciente para aportar resultados lo más cercanos a la realidad.
- De acuerdo al tipo de especie, sus requerimientos ambientales y escala de proyecto se sugiere fundamentar los modelos de potencialidad con principios que promuevan el desarrollo sustentable.

Recomendaciones orientadas a la mejora de esta investigación

- Se sugiere modelar las variables al suroeste del estado de México donde se presentan indicios de potencialidad alta para la introducción de higuierilla.
- La elección y ponderación de variables socioeconómicas deben ser argumentadas con información de plantaciones comerciales ya establecidas.
- Corroborar y verificar en campo las zonas con potencialidad afinarían la aplicabilidad del modelo, por lo que se propone complementar con dicha actividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Armendáriz, V.J. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel. Tesis de Maestría no publicada, UANL, Nuevo León, México.
2. Barrios, G.E., Zamarripa, C.A., Canul, K.J., Hernández, A.M., Alarcón, C.N. (2013). Evaluación de materiales élite de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Morelos. *Ciencia y Tecnol. Agrop*, 2, 27-32.
3. Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. (2000). La dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 44, 18-38.
4. Bonilla, S. J., Muñoz, O. A., Escalante, E. J., Zamarripa, C. A. (2016). Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (2).
5. Bosque S. J., Rodríguez R. V. y Santos P. J.M. (1983). La geografía cualitativa eb la universidad y la investigación española. *Cuadernos Críticos de Geografía Humana Geocrítica*. Año VIII, núm 44. Abril 1983.
6. Buzai, G., Cacace, G., Humacata, L., Lanzelotti, S. (2015) *Geografía cuantitativa, paradigmas y simplicidad*. Métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: por una geografía de lo real. 23-37.
7. Buzai, G., Baxendale, C. (2015). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía. *Revista ciencias espaciales*, 8 (2).
8. Calderón, G., Rzedowski, J. (2005). Flora fanerogámica del Valle de México (2a.ed.). Pátzcuaro, Michoacán, México. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
9. Colegio de Posgraduados. COLPOS. (1982). *Manual de Conservación de suelos y el agua, control de cárcavas*. Chapingo, México.
10. Colegio de Posgraduados. COLPOS. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. DF, México: SARH.
11. CONABIO. (2016). Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Pág. 13.

12. Córdoba, G.O. (2012). Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. Tesis de Doctorado no publicada, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
13. Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, España: EDICIONES RIALP, S.A.
14. Del Cid, M. (2009). Los sistemas de información geográfica en la construcción de un conocimiento inclusivo y de desarrollo. Comparación de aplicaciones de software libre. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*.1.109-134.
15. Díaz, P.G., Guajardo, P.R., Medina, G.G., Sánchez, C.I., Soria, R.J., Vázquez, A.J., Quijano, C.A., Legorreta, P.F., Ruíz, C.A. (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. SAGARPA-INIFAP. Edición especial no. 8.
16. Díaz, S.J. y López, B.J. (2000). Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de mar muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. *Investigaciones geográficas*, 41, 62-80.
17. Elías, C.F. y Castellvi, F. (1996). *Agrometeorología*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
18. Falasca, L.S., Ulberich, C.A., Ulberich, E. (2012). Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). *ELSEVIER*, 35 (1), 185-191.
19. Ferreros C, Fidalgo H. 1999. Biogeografía y edafogeografía, ED Síntesis. Madrid, España.
20. García, O.J. (2011). Propuesta para la conservación y recuperación de suelos de San Felipe del Progreso y San José del Rincón. Tesis de Maestría no publicada, UAEM, Toluca, México.
21. García, B.C., Maserá, C.O. (2016). *Estado del arte de la bioenergía en México*. Guadalajara, México: Imagia Comunicación S. de RL. De CV.
22. Guajardo, P.R., Díaz, P.G., Góngora, G.S., Ramírez, G.J., López, L.R., Soria, R.J. (2013). Potencial productivo de cuatro especies bioenergéticas

en la región sur-sureste de México bajo condiciones de temporal Ciclo primavera-verano. Delimitación espacial mediante sistemas de información geográfica. Folleto técnico no. 72.

23. Gómez, D.M. y Barredo, C.I. (2006). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México: Alfaomega.
24. Gómez, R.A., Rico, G.M., Omedilla, P.S. (2013). Contribución de un modelo de producción bioenergética a escala local al desarrollo del medio rural. El caso de la comarca de Odra-Pisuerga (Burgos). *Revista de estudios sobre población y desarrollo rural*, 15, 153-188.
25. González, A.I., Ruíz, C.J., Martínez, P.R., Byerly, M.K., Mena, H.L., Osuna, G.J. (2002). Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de Tepic, Nayarit. INIFAP. Folleto de investigación no. 18.
26. González, M.A. y Castañeda Z.Y. (2008). Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. *Argumentos*, 21, 55-83.
27. González, C.M. (1984). *Especies vegetales de importancia económica en México*. México: Ed. Porrúa.
28. Goytia, J.M., Gallegos, G.C., Núñez, C.C. (2013). Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuera (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo*, 17, 41-48.
29. Herrera, P.M. y Medina, N.P. (2006). *Guía ambiental para el cultivo de higuera en el corredor central del departamento de Boyacá*. Bogotá. Universidad de la Salle.
30. Hyde, W., Amacher, G.S., Magrath, W. (2001). Deforestación y aprovechamiento forestal. *Gaceta Ecológica*, 59, p.0.
31. INIFAP-GEM. (2010). *La clasificación FAO-WRB y los suelos del Estado de México*. Zinacantepec, Estado de México: Ed. INIFAP.
32. Leal, N.O., Mendoza, M.E., Pérez, S.D., Geneletti, D., López, G.E., Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 4, 1152-1170.
33. Londoño, C.A., Valdés, Q.J. (2016). *Análisis y modelamiento espacial*. Medellín, Colombia: Universidad Autónoma de Medellín.

34. Machado, R., Suárez, J., Alfonso, M. (2012). Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de *Ricinus communis* L. para la producción de aceite. *Pastos y Forrajes*, 4, 381-391.
35. Martínez, C.C., B, A.L., O, O.J. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética?. *Ra Ximhai*, 8(3), 93-100.
36. Martins, V.f., Haddad, C.R., Semir, J. (2009). Seed germination of *Ricinus communis* in predicted settings after autochourus and myrmecochourus dispersal. *Journal of the Torrey Botanical Society*.
37. Medina, R.I., Chávez, V.N., Jáuregui, R. J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y Ciencia*, 55, 62-70.
38. Méndez, W., Cartaya, S. (2008). Caracterización ambiental en los proyectos de investigación de geografía física. Lineamientos metodológicos. *Geoenseñanza*, 13 (1), 31-50.
39. Montiel, M.J. (2010). Potencial y riesgo de los bioenergéticos en México. *Ra Ximhai*, 6(1), 57-62.
40. Noda, L.Y., Pérez, V.A., Valdés, R.O. (2015). Establecimiento de tres especies de oleaginosas bajo asociación. *Agronomía Mesoamericana*, 26 (2), 323-332.
41. Pineda, J.N., Bosque, S.J., Gómez, D.M., Némiga, A.X., Balderas, P.M. (2013). Modelos de simulación para localizar zonas adecuadas para repoblaciones forestales mediante técnicas de evaluación multicriterio y sig. El caso del Estado de México. En, *Estudios geográficos con técnicas de evaluación multicriterio*. México. Editorial CLAVE.
42. Porta, C.J., López, R.M., Roquero, L.C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa.
43. Ramírez, B.R. (2007). La geografía regional: tradiciones y perspectivas contemporáneas. *Investigaciones Geográficas*, 64, 116-133.
44. Rodríguez, L.J., Olivella, R. (2009). *Introducción a los sistemas de información geográfica*. Catalunya, España: Universidad Oberta de Catalunya.
45. Rodríguez, H.R. y Zamarripa, C.A. (2013). Competitividad de la higuera (*Ricinus communis* L.) para biocombustibles en relación a los cultivos actuales en el Edo. De Oaxaca, México. *Revista mexicana de agronegocios*, 32, 306-318.

46. Rojas, Z.C., Orozco, V.M., Romero, R.S., Montoya, A.R. (2016). Vegetación y flora del municipio de Temascaltepec, Estado de México. *Polibotánica*, (42), 43-89.
47. Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa.
48. Rzedowski, J., Calderón de Rzedowski, G. (1990). Nota sobre el elemento africano en la flora adventicia en México. Pátzcuaro, Michoacán, México. Instituto de Ecología.
49. Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process planning, priority setting, resource allocation*: McGrawHill.
50. Salichtchev, K. (1979). *Cartografía*. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
51. Tarbuck, E., Lutgens, F. (2009). *Ciencias de la tierra*. Ribera de Loira, España: Editorial Pearson Prentice Hall.
52. Valero, P.J., Cortina, V.S. (2013). *Jatropha curcas* en Chiapas para producción de biodiesel: Aceptación entre los agricultores, dificultades encontradas, y sustitución de cultivos. En Pérez, V.A., García, P.E (Eds.), *Energía alterna y biocombustibles: Innovación e investigación para un desarrollo sustentable*. México. Editorial del Colegio de Posgraduados.
53. Vargas, U.G. (2012). Espacio y territorio en el análisis geográfico. *Reflexiones*, 91 (1).

Páginas de internet

1. ArcGIS Pro (2017). Recuperado de: <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/toolreference/analysis/how-intersect-analysis-works.htm>
2. Bustamante, G.C., Maser, C.O. (2016). Estado del arte de la bioenergía en México. Recuperado de: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>
3. CABI. (2012). *Invasive Species Compendium. Ricinus communis* (castor bean). Recuperado de: <http://www.cabi.org/isc/mobile/datasheet/47618>
4. Dartmouth college library (2017). *Spatial analysis*. Recuperado de: <http://researchguides.dartmouth.edu/gis/spatialanalysis>
5. Decreto de la Reforma Energética. Recuperado de: <http://cdn.reformaenergetica.gob.mx/decreto-reforma-energetica.pdf>

6. Dove. Recuperado de: [http://biorealis.com/OMV/files/CASTOR%20BEAN%20\(RICINUS%20COMMUNIS\)%20-%20BIODIESEL.pdf](http://biorealis.com/OMV/files/CASTOR%20BEAN%20(RICINUS%20COMMUNIS)%20-%20BIODIESEL.pdf)
7. FAO. (2006). Guía para la interpretación edafológica. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
8. FAO. (2008). Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>
9. FAO. (2009). Terminología de bioenergía. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j6439s/j6439s05.pdf>
10. FAO. (2011). Estado del arte y novedades de la bioenergía en México. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as417s/as417s.pdf>
11. FAO. (2015). El desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/x5600s/x5600s05.htm>
12. FAO. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>
13. FAO. (2017). Degradación del suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
14. FAO. (2015). Statistics Division. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org/home/E>
15. Biodiversity information facility. GBIF. (2017) Recuperado de: <https://demo.gbif.org/data-use/83172/predicting-global-invaders-and-regions-at-risk-of-invasion>
16. GEM. (2004), Plan Municipal de Desarrollo Urbano San Simón de Guerrero (PMDU). Recuperado de: http://sedur.edomex.gob.mx/san_simon_de_guerrero
17. GEM. (2010), Plan Municipal de Desarrollo Urbano Temascaltepec (PMDU). Recuperado de: <http://sedur.edomex.gob.mx/temascaltepec>
18. GEM-IGECEM-INEGI. (2015). Anuario estadístico y geográfico de México. Recuperado de: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/MEX_ANUARIO_PDF15.pdf

19. GEM (2016), Plan de Desarrollo Municipal 2016-2018 H. Ayuntamiento de Temascaltepec. Recuperado de: <http://www.ipomex.org.mx/ipo/portal/temascaltepec.web>
20. Global Invasive Species Database. GISD (2017). *Ricinus communis*. Recuperado de: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Ricinus+communis>
21. Grubestic, H., Nelson, R. (2016). Spatial analysis. Recuperado de: <http://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199874002/obo-9780199874002-0125.xml>
22. ENE (2014). Estrategia nacional de energía. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>
23. Energías Renovables, Estudio del Marco Jurídico Actual, de Políticas Públicas, Derecho Comparado a nivel Estatal e Internacional, de los Dictámenes aprobados en las Leyes Secundarias en Materia Energética y Opiniones Especializadas (2014). Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/spi/SAPI-ISS-43-14.pdf>
24. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235.pdf>
25. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_240117.pdf
26. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>
27. Masera, O., Coralli, F., García, C., Riegelhaupt, E., Arias, T., Vega, J., Díaz, R., Guerrero, G., Cecotti, L. (2011). La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. Recuperado de: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>
28. IMERE-WWF (2013). Plan integral para el desarrollo de las energías renovable en México 2013-2018. Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo. Recuperado de: http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf.
29. INEGI. (2006). Conjunto de datos vectorial edafológico. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&upc=702825004223&s=est&tg=3613&f=2&pf=prod&ef=00&cl=0&pg=0>

30. INEGI. (2008). Unidades Climáticas. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/default.aspx>
31. INEGI. (2010). Marco Geoestadístico Nacional. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx
32. INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda, Principales Resultados por Localidad (ITER) Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est
33. INEGI. (2001). Conjunto de datos geológicos. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/infoescala.aspx>
34. INEGI. (2013). Conjunto de datos uso de suelo y vegetación serie V. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/Default.aspx>
35. INEGI (2014). Estadísticas de la industria minero metalúrgica. Recuperado de: www.sgm.gob.mx
36. INEGI (2014). Sistema de información geográfica. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>
37. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, (2015). Panorama sociodemográfico de Estado de México. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825082246>
38. INIFAP-SAGARPA (2011). Guía para cultivar Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán, folleto técnico no. 1. Recuperado de: http://www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/trans_foca/2016/Transparencia_Focalizada/Higuierilla/Guia_Higuierilla_Michoacan/Gu%C3%ADa%20para%20cultivar%20higuierilla%20en%20Michoac%C3%A1n.pdf
39. INIFAP-SAGARPA (2012). Guía gráfica de descriptores de higuierilla. Recuperado de: <http://snics.sagarpa.gob.mx/dov/Documents/GUIAS/Higuierilla.pdf>
40. INIFAP-SAGARPA (2013). Guía para cultivar Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Oaxaca, folleto técnico no. 13. Recuperado de: http://www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/trans_foca/2016/Transp

[encia Focalizada/Higuerilla/Guia Higuerilla Oaxaca/GU%C3%8DA%20PARA%20CULTIVAR%20HIGUERILLA%20OAXACA.pdf](http://www.inifap.gob.mx/biblioteca/inifap/guia_higuerilla_oaxaca/GU%C3%8DA%20PARA%20CULTIVAR%20HIGUERILLA%20OAXACA.pdf)

41. INIFAP-SAGARPA (2014). Guía para cultivar Higuerilla (*Ricinus communis* L.) en Hidalgo, folleto técnico no. 2. Recuperado de: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/4295>
42. Instituto Nacional de Ecología. INE (2009). Consideraciones ambientales para la producción y uso sustentable de biocombustibles en México. Recuperado de: http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_biocombustibles_p_res_02_ilaguna.pdf
43. Instituto Nacional de Ecología. INE (2010). Recuperado de: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambitonacional.html>
44. Integrated Taxonomic System .ITIS (2017). Recuperado de: http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=28393#null
45. Olaya, V. (2014). Sistemas de información geográfica. Recuperado de: <http://volaya.es/writing>.
46. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Recuperado de: www.oic.sep.gob.mx/portal3/doc/PMG/pnd_2007-2012.pdf
47. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Recuperado de: <http://pnd.gob.mx/>
48. PROGRAMA DE PRODUCCION SUSTENTABLE DE INSUMOS PARA BIOENERGETICOS. Recuperado de: http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/PROINBIOS_20091013.pdf
49. PROGRAMA DE INTRODUCCION DE BIOENERGETICOS. Recuperado de: <http://www.energia.gob.mx/res/0/Prog%20Introd%20Bioen.pdf>
50. Protocolo de Kioto. (1998). Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
51. Recalde, P.E., Durán, A.J. (2009). Cultivos energéticos alternativos. Recuperado de: <http://www.yumpu.com/es/document/view/6476676/cultivos-energeticos-alternativos-puce-si/2>

52. Red Mexicana de Bioenergía. REMBIO (2010). Biocombustibles avanzados en México. Recuperado de: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT2.pdf>
53. Rodriguez, J., Olivella, R. (2009). Introducción a los sistemas de información geográfica. Recuperado de: <http://www.openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/53645/1/introducci%C3%B3n%20a%20los%20sistemas%20de%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica.pdf>
54. SAGARPA (2013). Futuro de la producción de biocombustibles en México. Recuperado de: http://www.colpos.mx/wb_pdf/Notas/9%20Presentacion%20Evento%20Colpos%20Chapingo%20291113.pdf
55. SAGARPA (2013). Manual técnico de producción de cultivos bioenergéticos, INIFAP. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B377.aspx>
56. SAGARPA (s.f). ESTRATEGIA INTERSECRETARIAL DE BIOENERGETICOS <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Estrategiabiogereticos.pdf>
57. SAGARPA (2013). Manual técnico de producción de Bioenergéticos. Recuperado de: www.sagarpa.gob.mx/agricultura/.../PROINBIOS_20091013.pdf
58. SAGARPA (2014). Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B261.aspx>
59. SAGARPA (2015). Boletines. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sinaloa/boletines/Paginas/B07022015.aspx>
60. Secretaría de SEMARNAT (2012). Uso de suelo. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/02_ecosistemas/cap2_1.html
61. Secretaría de Energía en colaboración con la Agencia Internacional de Energía. SENER-AIE (2011). Indicadores de eficiencia energética en México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85305/Bibliografia_6.pdf

62. SENER (2015). Balance nacional de energía. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248570/Balance_Nacional_de_Energ_a_2015_2_.pdf
63. Ramírez (2008). Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de nuevos ingresos. Recuperado de:
<https://www.snvworld.org>
64. UNESCO (2010). Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas. Recuperado de:
<http://unesdoc.unesco.org/imagenes/0021/002116338s.pdf>
65. Veloza (s.f). Proyecto de desarrollo social para la implementación del cultivo de higuierilla en Colombia. Recuperado de:
<https://www.buscagro.com/biblioteca/Hector-Mario-Veloza-Contreras/hiquerilla-en-Colombia.pdf>